



Schweißtagung Essen

Gemeinsam mit dem Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI, dem Verband für autogene Metallbearbeitung, Berlin, und der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung, Berlin, führte das Haus der Technik, Essen, am Dienstag, 7. Februar 1939, eine Schweißtagung durch. Trotz der nicht gerade seltenen Veranstaltungen auf dem Gebiet der Schweißtechnik hatten sich zu den angekündigten 9 Vorträgen rund 600 interessierte Fachmänner aus allen Teilen des Reiches eingefunden, um sich mit den jüngsten Erfahrungen auf dem umfassenden Gebiet des Schweißens vertraut zu machen.

Die unter Leitung des Direktors der Westdeutschen Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt, Duisburg, Dipl.-Ing. C. H a s e, stehende Tagung brachte folgende Vortragsreihe:

1. **„Elektroden für hochwertige Schweißungen“**
Direktor Dr.-Ing. F. R a p a t z, Gußstahlfabrik Kapfenberg, Gebr. Böhler & Co., AG., Kapfenberg (Steiermark).
2. **„Schweißen von Leichtmetallen und seinen Legierungen“**
Dr.-Ing. E. v. R a j a k o v i c s, Dürener Metallwerke AG., Hauptverwaltung, Berlin-Borsigwalde.
3. **„Die Widerstandsschweißung in ihrer Anwendung auf Leichtmetalle“**
Dipl.-Ing. K. S i e m e r s, Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk, Essen.
4. **„Die autogene Schienenstoß- und Schienenreparaturschweißung“**
Obering. H. F r a n k e n b u s c h, Beratungsstelle für autogene Schweißtechnik, Köln.
5. **„Die elektrische Schienenstumpfschweißung“**
Ing. S. H o c h, Siemens-Schuckertwerke, Berlin.
(Dieser Vortrag wurde infolge Erkrankung des Vortragenden von Ing. T h i e f, SSW., Berlin, gehalten.)
6. **„Die Schweißung im Hochbau unter Berücksichtigung der metallurgischen und konstruktiven Gesichtspunkte“**
Direktor Dipl.-Ing. H a u t t m a n n, Gutehoffnungshütte, Oberhausen.
7. **Schweißen an Hochleistungsdampfkessel-Bauteilen“**
Obering. Dipl.-Ing. H. S t e h r, Technischer Überwachungsverein 4, Essen.
8. **„Gußeisenschweißen im Maschinenbau“**
Prof. Dr.-Ing. K r i t z l e r, Technische Hochschule, Braunschweig.
9. **„Das Schweißen von plattierten Blechen“**
Direktor Dipl.-Ing. C. H a s e, Westdeutsche Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt, Duisburg.

Die rege Anteilnahme an dem Inhalt der einzelnen Fachreferate fand auch besonders darin ihre Kennzeichnung, daß fast zu jedem Vortrag eine Reihe von Aussprachebeiträgen gegeben wurde, deren zusammenhängende Veröffentlichung am Schluß des vorliegenden Heftes gebracht wird.

Das vorliegende Heft bringt die Ausführungen sämtlicher auf der Tagung gehaltenen Vorträge im Wortlaut und wird auch über den Kreis der Besucher der Tagung hinaus den Männern der Wissenschaft und Praxis wertvolle Anregungen wie auch einen zusammenfassenden Überblick über die heute auf dem Gebiet der Schweißtechnik am meisten interessierenden Fragen vermitteln.

Der vorliegende Vortrag erblickt seine Aufgabe darin, eine Übersicht zu geben, wie es mit der Bewertung der verschiedenen Zusatzdrähte für Elektroschweißung heute steht. Ein Urteil ist uns, nachdem eine zehnjährige Erfahrung zur Verfügung steht, wohl schon möglich. Die Ausführungen sollen keinesfalls als partielle Stellungnahme einer Seite angesehen werden; die hier ausgesprochenen Ansichten entsprechen vielmehr nach unserer Überzeugung der technischen Wirklichkeit.

Zur Abgrenzung des Gegenstandes sei bemerkt, daß nur die **V e r b i n d u n g s s c h w e i ß u n g** behandelt werden soll und nicht etwa auch die Auftragschweißung.

Die Werkstofffragen beim Schweißen sah man bis vor ein oder zwei Jahren schon fast als überwunden, als geklärt. Man hatte sich mit dieser Frage schon mehrfach befaßt und sowohl den Grundwerkstoff, also den in der Schweißung zu verbindenden Stahl, auf seine Schweißbarkeit hin festgelegt als auch für den Zusatzwerkstoff bestimmte Mindesteignungen als notwendig zu erkennen geglaubt und diese schließlich auch für höchstwertige Bauwerke in vollkommener Form als vorhanden angesehen. Man erließ Vorschriften und fühlte sich sicher. Daß ein so weitgehendes Vertrauen auf die Zuverlässigkeit der nach den vorgeschilderten Meinungen ausgeführten Schweißverbindungen nicht in jedem Falle richtig war, haben wir in der Folge erlebt; und u. E. wäre manches von den inzwischen aufgetretenen Fehlergebnissen vermeidbar gewesen, wenn man neben den bisher zur Gütebeurteilung einer Elektrode angelegten Maßstäben mehr Aufmerksamkeit auf die Arbeitseigenschaften eines Schweißstabes gelegt hätte. Es sei im weiteren versucht, diesen Gedankengang klarer zu entwickeln.

Da bei St 37 Schwierigkeiten und Schadensfälle kaum aufgetreten sind, interessiert hauptsächlich St 52. Wie wichtig die Frage für St 52 aber ist, erhellt daraus, daß — soviel wir unterrichtet sind — bei den Brücken an Stelle von geschweißtem St 52 nicht St 37 treten würde, sondern der Betonbau, da St 37 zu schwer wäre.

Der Gefahren, die die Schweißung von St 52 bedrohen, sind in knappen Worten zwei: die **A u f h ä r t u n g** des Grundwerkstoffes und die **K e r b w i r k u n g**. Vor eineinhalb Jahren¹⁾ haben wir uns damit befaßt, wie groß die Aufhärtung ist, wie verschieden anfällig gegen die Härteannahme der St 52 sein kann und wie selbst bei gleicher Zusammensetzung die Härteanfälligkeit verschieden sein kann. Ist die Härteannahme ausreichend zu mildern, so wird eine als zuverlässig ansehbare Schweißbindung schon in hohem Maße als gewährleistet angesehen werden dürfen. Wieweit die Gefahr durch Milderung der Vorschriften, etwa durch Herabsetzung der Streckgrenze verringert werden kann, soll hier nicht untersucht werden. Hauptsächlich wollen wir uns mit dem zweiten Gefahrenpunkt, der Kerbwirkung, befassen.

Wir wissen, daß bei jedem Werkstoff unter scharfen Beanspruchungen Kerbwirkungen zu vorzeitigem Bruch führen können, und daß Kerbwirkungen um so gefährlicher sind, je fester und härter der Stahl ist. Schaltet man auch die Kerbwirkungen so gut es geht aus, so ist ein weiterer Schritt zur sicheren Schweißverbindung

getan. Aus dem bisher Gesagten geht hervor, daß es vor allem wichtig ist, den beim Schweißen auftretenden Wärmeverhältnissen und Kerbgefahren Rechnung zu tragen. Es sind auch, soweit sich die entstandenen Schadensfälle an großen Bauwerken heute von uns übersehen lassen, hauptsächlich diese beiden Punkte, die in ihren Auswirkungsmöglichkeiten noch nicht hinreichende Beachtung gefunden haben und die dann unter starken Schrumpfspannungen Naht- und Grundwerkstoffbrüche einleiteten. Jedenfalls waren es nicht mangelnde Festigkeits- oder besser mangelnde Dehnungseigenschaften im Schweißgut, die zum Versagen führten. Wesentlich ist uns hier die Feststellung, daß Schweißverbindungen mit Schweißdrähten hoher Dehnung und Kerbzähigkeit, wie z. B. Konstruktionen am Berliner Bahnhof Zoo oder an der Rüdersdorfer Brücke, gerissen sind.

Damit kommen wir zu der Frage der **Z u s a t z w e r k s t o f f e**. Wir haben bekanntlich für die Verbindungsschweißung sich grundsätzlich unterscheidende Elektrodenarten. Es sind dies der einfache, am Minuspol zu verschweißende Blankdraht, die dünnummüllte, die stark ummantelte Stab- und die Seelenelektrode. Betrachten wir nun die Beschaffenheit des mit ihnen erreichbaren Schweißgutes, aber auch ihre Arbeitseigenschaften.

Der einfache **B l a n k d r a h t** ist nur in einer Festigkeitsstufe auf dem Markt. Er kann nur bis zur St-37-Güte hin Verwendung finden, da man ihn ohne Gefährdung seiner Minuspolschweißbarkeit nicht höher als im Mittel 0,12% C und 0,5% Mn legieren kann. Bei höherem Gehalt an Legierungsmitteln bleibt für ihn nur die Pluspolschweißung übrig, die aber für die Ausführung von Verbindungsschweißungen zu unruhig ist. Wir wollen als bekannt voraussetzen, daß Legierungselemente die Verschweißung am Minuspol verhindern, wenn nicht besondere Maßnahmen ergriffen werden. Diese Maßnahmen bestehen in der Zugabe von nichtmetallischen Bestandteilen. Die dem einfachen nichtmetallischen Draht beigegebenen Bestandteile genügen nicht, die Minuspolverchweißbarkeit legierter Stähle zu sichern. Zu erklären ist dies durch die Art, in welcher nichtmetallische Mittel beigegeben sind. Sie rühren zum Teil her von den im Block eingeschlossenen Schlacken und sind teilweise oberflächlich im Ziehverfahren aufgebracht. Vielfach werden diese Drähte auch leicht geglüht, was durch die sich hierbei bildende leichte Zunderschicht ebenfalls zur besseren Ionisierung beiträgt. Diese Ionisierungsmittel sind aber mengenmäßig zu knapp und schließlich auch nicht gleichmäßig genug verteilt. Einfache Blankdrähte sind ferner nicht bei Wechselstrom schweißbar und in größeren Stabdicken, 6 mm und darüber, nicht mehr zuverlässig. Der Lichtbogen hat keinen Gasschutz. Darum verbrennen Kohlenstoff, Silizium und Mangan zum größten Teil, so daß also ein von diesen Elementen fast freies Eisen als Schweißgut entsteht. Gleichzeitig nimmt das niederschmelzende Schweißgut in hohem Maße Stickstoff und Sauerstoff auf. Der Stickstoffgehalt beträgt im Schweißgut des einfachen blanken Drahtes etwa 0,16%. Er macht das Schweißgut spröde, so daß es kaum mehr als etwa 4% Dehnung bei 0,7 bis 1 mkg/cm² Kerbzähigkeit hat, und macht es ferner stark alterungsanfällig. Gleichzeitig gleicht er aber auch den durch den Abbrand an Kohlenstoff, Silizium und Mangan entstandenen Festigkeitsverlust aus, so daß wir auch bei der Blankdrahtschweißung noch mit Zugfestigkeiten von 37 bis 40 kg/mm² im reinen Schweißgut rechnen

^{*)} Abb. des Verfassers

¹⁾ N. u. E. 1938, H. 14, S. 378/81.

aufnahme wird das Schweißgut mit Oxyden durchsetzt und ist nicht schmiedbar. Abgesehen davon, daß die beschriebene Elektrode wegen ihrer ungleichmäßigen Ionisierungseigenschaften einen geübten Schweißer voraussetzt, hat sie den Vorteil, daß sie einen brauchbaren tiefen Einbrand ermöglicht und vor allen Dingen ein schlackenfreies Schmelzbad hat. Der Schweißer sieht bei seiner Arbeit in jedem Augenblick, wie er vorgeht, ob er bindet, ausreichenden Einbrand hat und fehlerfrei schweißt. Dazu kommt die gute Eignung des Blankdrahtes auch für Senkrecht- und Überkopfschweißungen.

Die dünn umhüllte Elektrode ist am ehesten mit dem einfachen Blankdraht vergleichbar. Bei ihr sind die zur leichten Lichtbogenhaltung erforderlichen Stoffe als leichter Mantel durch Tauchen aufgebracht, dienen aber auch zur Lichtbogenberuhigung und können insbesondere nicht, wie vielfach angenommen wird, durch einen Gas-mantel das abschmelzende Schweißgut vor Sauer- und Stickstoffaufnahme schützen. Wohl aber gewährleistet die Hülle eine gleichmäßigere Ionisierung, so daß der dünn umhüllte Stab nicht nur bei Gleichstrom mit großer Stetigkeit schweißbar ist, sondern auch am Wechselstromgerät anspricht. Die nichtmetallischen Hüllenteile hinterlassen jedoch Schlackenreste, die unvermeidbar auch in das Schweißgut gelangen. Das Bad aller nicht stark ummantelten Elektroden erstarrt verhältnismäßig schnell, ist im flüssigen Zustand aber noch ein kreisender Wirbel, in welchem die Schlackenrückstände das ganze Bad durchsetzen. Durch die schnelle Erstarrung behindert, kommen sie aus dem Schmelzbad nicht mehr restlos frei und durchsetzen dann das Schweißgut mit Einschlüssen, die bei Dauerbeanspruchungen zu Keimen für Anrisse werden können. Besonders haften diese Rückstände auch in den Unebenheiten der Nahtoberfläche und können dort weder durch Bürsten noch durch Schaben restlos entfernt werden, wodurch es bei Mehr-lagenschweißungen zu neuen Einschlüssen kommt. In den mechanischen Eigenschaften, in der Zugfestigkeit und der Dehnung liegt das Schweißgut dünn getauchter Elektroden gleich den Werten, die für Blankdrahtschweißung genannt wurden.

Bei der stark umhüllten Elektrode, dem Mantelstab, erstrebt man vor allem ein möglichst hochwertiges Schweißgut bei guter, angeschniegter Nahtform, die den letzten Anschauungen über Schwingungsfestigkeit entspricht. Gleichzeitig soll die Elektrode in einer Weise leicht abschmelzen, daß auch der ungeübtere Schweißer mit ihr ohne Schwierigkeiten bei Gleich- und Wechselstrom gut arbeiten kann. Man sucht also das niederschmelzende Schweißgut vor der Berührung mit der atmosphärischen Luft zu bewahren und gibt darum in die Hülle solche Stoffe, z. B. Zellstoffe, die geeignet sind, eine Schutzgasbildung zu bewirken. Die glatte Raupe und die leichte Schweißbarkeit werden wiederum durch andere Mittel, so mit oxydischen Erzen, Salzen und Silikaten erzielt. Schließlich treten auch bei Mantelstäben noch Legierungsverluste im Lichtbogen auf, die durch Beigaben von Legierungsbestandteilen in die Hülle ausgeglichen werden können, teilweise allerdings auch durch Überlegierung des Drahtes berücksichtigt werden. Außerdem setzen alle diese verschiedenartigen Stoffe, damit sie bei den zur guten Arbeit notwendig werdenden Mengen auch fest und dauerhaft auf dem Drahtkern bleiben, den Gebrauch eines Bindemittels, so beispielsweise Wasserglas oder Dextrin, voraus. Ent-

sprechend den verschiedenen Aufgaben, die der Hülle damit durch eine Reihe von Stoffen zugewiesen werden, ist als Gesamtergebnis der Schweißstab stets eine Zusammensetzung verschiedenartigster Arbeitseigenschaften. Die eine gewünschte Eigenschaft beeinträchtigt oft die andere. Durch angestrengte Arbeit ist es aber den schweißdrahterzeugenden Firmen gelungen, ummantelte Drähte zu schaffen, die an Kerbzähigkeit, Dehnung und Biegewinkel dem gewalzten Werkstoff kaum nachstehen. Die Fortschritte auf diesem Gebiete waren in den letzten Jahren ganz außerordentliche. Andererseits aber gibt es auch heute noch markt-gängige Elektroden, die z. B. aus den Hüllstoffen so viel Sauerstoff in das Schweißgut bringen, wie es nicht einmal beim einfachen Blankdraht zu verzeichnen ist. Gewiß werden solche Mantelstäbe in verantwortlichen Bauwerken wohl kaum Verwendung finden. Ihre schnellen Schweißereigenschaften, die durch Oxyde erreicht werden, ihre schönen glatten Raupen, ihre ideal verlaufende Hohlform in der Kehle lassen sie jedoch immer noch in beachtlichem Maße Gebrauch finden. Schließlich hat auch das mit ihnen aufgeschmolzene Schweißgut hohe Dehnungswerte, gute Biege-fähigkeit und eine den landläufigen Bedingungen vollkommen genügende Kerbzähigkeit. Sie können also selbst bei gewissenhaften Abnahmeprüfungen durchkommen, obwohl gerade ihr Schweißgut durch ungünstiges Verhalten in der Wärme besonders leicht zu Nahtrissen neigt. In anderen Fällen hat sich ergeben, daß aus den Hüllstoffen andere Verunreinigungen des Schweißgutes, so Phosphor- und Schwefelaufnahmen, erfolgen. Bei anderen stark umhüllten Stäben wiederum unterschneidet die Naht die Blechränder neben der Schweißstelle. Besonders bei Kehlnähten ist diese Fehlererscheinung, auch noch in neueren Bauwerken, oft zu beobachten. Und es handelt sich hierbei durchaus nicht um „leicht ausgerundete Kerben“, wie abschwächend gesagt wird. Vielmehr sind gar nicht so selten selbst an Bauwerken, bei denen man dynamische Beanspruchungen vorauszusetzen hat, so starke und den Querschnitt an dieser Stelle gefährdende Narbungen zu sehen, daß man nur annehmen kann, daß die vermuteten Wechselbeanspruchungen praktisch weit weniger groß oder weit weniger gefährlich sind, als man noch vor wenigen Jahren, vielleicht auch heute noch, anzunehmen geneigt war. Bei durch Tauchung hergestellten Schweißstäben erwachsen für die Durchführung der Schweißarbeiten noch Beeinträchtigungsmöglichkeiten durch ungleichmäßige Hüllstärken, durch einseitig aufgebrachte Hüllen und auch durch die Möglichkeit der Entmischung der Mantelstoffe im Tauchbehälter. Durch das jetzt vielfach angewendete Prefverfahren ist in dieser Hinsicht eine merkliche Besserung bewirkt worden. Bei den Mantelstäben aber ist eine grundlegende Gefährdung der Nahtsicherheit darin zu erblicken, daß bei ihrem Gebrauch der Wurzeleinbrand in Kehlnähten nicht geradezu unmöglich, aber stets in Frage gestellt ist. Daran ändert es auch nichts, daß man heute selbst größere Bauteile in Drehvorrichtungen schweißt. Auch hierbei kann es immer noch vorkommen, daß die Schlacke vorläuft und den Wurzeleinbrand hindert. Der Schweißer hat ja auch nicht die klare Badübersicht und damit die Möglichkeit zur steten Einbrandkontrolle wie bei den anderen Elektrodenarten. Noch mehr kommt diese Überlegung dort in Frage, wo ein Wenden, wie im Schiffbau, überhaupt nicht möglich ist. Mit Mantelstäben erzielbare, an Kerbzähigkeit und Dehnung gemessene hochwertig scheinende Schweißungen werden in ihrem Wert gemindert, daß von der nicht tief genug reichenden Wurzelbildung aus eine Kerbwirkung ausgeht,

welche die Kehlnaht gerade in ihrem beanspruchten Querschnitt gefährden kann. Dazu kommt, daß der Mantelstab infolge der wärmeisolierenden Schlacken- decke auf dem Bad und überhaupt infolge seiner durch die Aufschmelzung der Hüllenmasse bedingten grö- ßeren Wärmeentwicklung in die Verbindung mehr Wärme als die anderen Elektroden hineinschickt. Die Folge sind größere Spannungskräfte, die sich oft schon durch Nahtrisse ausgewirkt haben. Schließlich fordern schwerere Bauwerke, starkwandige Werkstücke größere Elektrodendurchmesser, also Stäbe \varnothing 4 mm und mehr noch, um, der verstärkten Wärmeabfuhr entsprechend, noch ausreichende Wärmeverhältnisse zur Erzielung eines genügenden Einbrandes zu erreichen.

Dem steht aber entgegen, daß die Gesamtdicke des Mantelstabes, erfolgend aus Draht und Hülle, nicht mehr die Einführung der Elektrode in ausreichender Tiefe gestattet. Der Lichtbogen wird bei der Wahl einer stärkeren Elektrode beim Lichtbogen zu lang, so daß dieses Hilfsmittel zur Einbrandsicherung nicht wie bei den sonstigen Elektrodenarten herangezogen werden kann.

Das Bestreben, die im vorhergehenden erwähnten Mängel der einzelnen Elektrodentypen zu vermeiden und andererseits ein Schweißgut mit ausreichend guten mechanischen Werten zu erzielen, führte zu der Seelen- elektrode. Bei ihr liegen die zur Lichtbogen- beruhtigung gebrauchten Stoffe nicht wie beim blanken Stab als Schlacke in unregelmäßiger Ver- teilung im Metall, sie sind auch nicht als Hülle auf den Stab aufgebracht, sondern liegen in der Drahtachse als Seele. Hier können sie so im Block eingebracht werden, daß ihr Anteil am Gesamtquerschnitt des Drahtes stets in einem genau abgestimmten und stets gleich- mäßigen Verhältnis bleib. Sie sind in der Drahtmitte an einer Stelle untergebracht, die eine besonders wirk- same Ausnutzung der Seelenstoffe zur Förderung der Leitfähigkeit des Lichtbogens gewährleistet. Darum schweißen Seelenelektroden gleichmäßiger und ruhiger als Blankdrähte und ermöglichen selbst, wenn auch nicht an jedem Gerät, schon die Wechsel- stromschweißbarkeit. Besonders aber äußert sich diese Art, die Ionisierungsmittel unterzubringen, in einem tiefen zuverlässigen Einbrand, der, wie wir schon ausführten, eine erste Vorbedingung zum Erhalt einer zuver- lässigen Kehlnaht ist. Die Lichtbogenberuhtigung durch die Seele aus nichtmetallischen Stoffen hat aber auch den Vorteil im Gefolge, daß man im Seelen- draht schon zu Legierungen des Drahtes gehen kann, ohne die Minuspolschweißbarkeit hierdurch zu gefähr- den. Man kann dem Seelendraht bereits Stoffe bei- geben, die, wie z. B. Mangan, das Schweißgut des- oxydieren oder, wie Zirkon und Titan, neben Des- oxydationseigenschaften eine Bindung des Stickstoffes in einer unschädlichen Form bewirken. Damit erzielt man Schweißungen mit guten Festigkeits- und Zähig- keitswerten, die in der Mitte zwischen denen bei Blankdraht- und Manteldrahtschweißungen liegen. Die Kerbzähigkeiten sind nicht wie bei besten Mantel- stäben über 10 mkg/cm², sondern nur etwa 4, der Biegewinkel nicht 180°, sondern bei St 52 etwa 70°. Das Schweißgut hat infolge der Stickstoffaufnahme, die etwa 0,08% beträgt, nicht mehr die gleiche Dehnung und den gleichen Biegewinkel wie die besten Schwei- fungen aus ummantelten Stäben, die vor Stickstoff- zutritt vollkommen geschützt sind. Trotzdem werden, wie die Erfahrungen von nunmehr 10 Jahren belegen, bei jeder Beanspruchung zuverlässige Schweißungen erzielt. Das zeigen Seelendrahtschweißungen an Bau- werken unter ruhender und wechselnder Belastung, im Schiffbau, im Brücken- und Kranbau, im Maschinen- und

Behälterbau, im Waggonbau und in der Eisen- besserungsarbeiten. Es ist übrigens auch eine bemer- kenswerte Tatsache, daß an vielen Stellen, besonders im Eisenhoch- und Waggonbau, bei der Erbauung von Schwerkmaschinen, es als eine allbewährte und sichere Regel gilt, Nähte, die mit anderen Elektrodenarten nicht zum Halten zu bringen waren, mit Seelendraht zuverlässig zu schweißen. Zu diesem Verhalten der Seelenelektroden wirken verschiedene Umstände zu- sammen. Den einen Umstand, die vortrefflichen Ein- brandeigenschaften, nannten wir bereits. Dazu kommt ferner die außerordentliche Reinheit der Seelendraht- schweißungen von Schlacken, die selbst die Reinheit des Schweißgutes von Mantelelektroden übertrifft. Auch in der Senkrecht- und Überkopfschweißung blei- ben sie stets zuverlässig. Sie sind auch mit Stabdurch- messern von 5, 6 und selbst 8 mm an schweren Blechen (in der 1. Lage bei Kehlnähten) noch einbrand- sicher und brauchbar, selbst für die Wurzellage einer Kehlnaht an solch schweren Bauteilen von Blechstärken von 120—150 mm. Sie sind schrumpfsicherer als Man- telstäbe, da sie dem zu verschweißenden Verbindung- teil nicht zu große Wärmemengen zuführen, und brin- gen darum die Nähte nicht unter zu schroffe Span- nungsbedingungen.

Schweißverbindungen, aus Seelendraht hergestellt, haben zwar keine besonders hohe Dehnung und Kerb- zähigkeit, aber wie bereits betont wurde, geben gute Kerbzähigkeit und Dehnung durchaus noch keinen An- halt dafür an die Hand, daß nun auch die Schweiß- verbindung sicher ist. Hat ja doch selbst Schweißgut mit wesentlich höheren Festigkeits-, vor allem Deh- nungseigenschaften bekanntlich versagt. Bei der Prü- fung einer Schweißung auf ihre Zuverlässigkeit hin hat man eben auch anderen, bisher nicht genügend beachteten Umständen wesentlich Rechnung zu tragen.

Die Schweißung ist ein Verfahren, bei dem man sich von manchen überkommenen Ansichten frei machen muß, um sie ihrem eigentlichen Wesen gemäß einsetzen zu können. Es ist von ganz entschiedener Bedeutung, die Arbeitseigenschaften der Elektroden mit in die Betrachtung einzubeziehen, wenn alle Möglichkeiten zur sorgfältigen Verbindungsschweißung eine brauch- bare Wertung erfahren sollen.

Die nachfolgenden Abbildungen vergleichen Mantel- und Seelendrahte in ihren physikalischen Eigenschaf- ten, aber auch in den Arbeitseigenschaften, die von den Vorschriften nicht beachtet werden.

Abb. 1 gibt die physikalischen Eigenschaften wieder, wobei beachtenswert ist, daß die Schwingungsfestig- keit trotz verringerter Dehnung und Kerbzähigkeit bei Seelendraht dieselbe ist.

Abb. 2 zeigt den Querschnitt einer einlagigen Schweiß- raupe aus Manteldraht und aus Seelendraht. Man be-

Draht- art	Zerreib- festigkt. kg/mm ²	Dehnung in % 1-5d (\varnothing 10)	Kerb- zähigkt. mkg/cm ²	Lastwechselzahl (Querprobe D.R.G. St 37)	
				unbearbeitet \varnothing 7 \varnothing 7,5	bearbeitet \varnothing 7 \varnothing 7,5
Seelen- draht	48	18	4	> 2.03	> 2.05
	52	22	6		
Mantel- draht	55	24	8	> 2.05	> 2.04
	60	30	12		

Abb. 1: Zähigkeit und Dauerfestigkeit

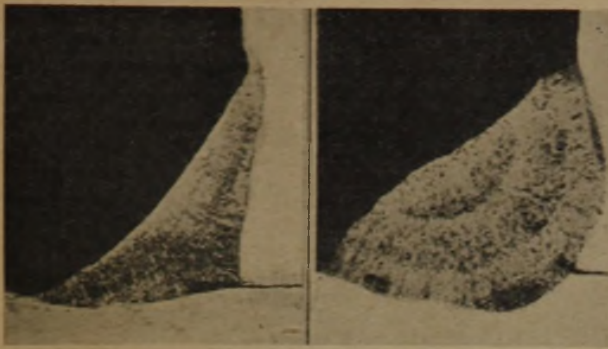


Abb. 2: Form und Gefüge einer Hohlnaht und einer geraden Naht



Guter Wurzeleinbrand



Schlechter Wurzeleinbrand

Abb. 3: Bruchproben zur Prüfung des Wurzeleinbrandes (Keilprobe nach DIN 4100)

merkt bei Seelendraht das tiefere Einbrennen und die bessere Erfassung der Wurzel.

Bei der Keilprobe nach DIN 4100 ist das Bruchaussehen bei gutem Wurzeleinbrand in der Abb. 3 oben dargestellt. Unten hingegen wird der durch die schöne äußere Raupe verdeckt gehaltene schlechte Wurzeleinbrand sichtbar.

Eine zahlenmäßige Erfassung der Einbrandgröße ist in der Abb. 4 wiedergegeben. Man sieht, daß die Menge des aufgeschmolzenen Grundwerkstoffes beim Seelendraht im Durchschnitt erheblich größer ist als beim Manteldraht.

Diese Bilder zeigen die große Bedeutung des Wurzeleinbrandes, von dem es zum großen Teil abhängt, ob die so gefährlichen Kerbwirkungen in Erscheinung treten oder nicht. Der schlechte Wurzeleinbrand ist der Hauptfeind einer sicheren Schweißung!

Die zugeführte Wärme ist bei Seelendrähten geringer als bei Manteldrähten, da die für die Schmelzung der Mantelmasse nötige Wärme entfällt. Es sind daher die durch Abkühlung aus hohen Temperaturen entstehenden Schrumpfspannungen weniger gefährlich. Sie sind zwar, wie die Forschung nachgewiesen hat, in ihrer absoluten Höhe in beiden Fällen gleich, dehnen sich aber bei dem Mantelstab über eine größere Fläche aus. Ein weiterer Umstand, der die Schrumpfung bei Seelendrähten geringer erscheinen läßt, ist auch der kleinere Öffnungswinkel in der Stumpfnah. Er beträgt bei Seelendrähten 60° und muß bei Manteldrähten mindestens 70° sein.

Bierett findet daher auch (Abb. 5) einen erheblichen Unterschied in der Schrumpfung. (Die blanke Elektrode, die von Bierett untersucht wurde, ist in dieser Hinsicht der Seelenelektrode gleichzusetzen.)

Es ist richtig, daß Seelenelektroden einen geübteren Schweißer brauchen. Mit dem Mantelstab kann ein Anfänger schon nach kurzen Stunden Einübungszeit

Nähte ziehen. Aber das verleitet wieder auch dazu, die Bedeutung eines guten Schweißers zu unterschätzen. Diese leicht und flüchtig geschulten Anfänger leisten auch mit Mantelstäben oft auf Monate hin keine zuverlässige Verbindung, die sie bei gründlicherer Schulung auch mit schwerer schweißbaren Elektroden nach wesentlich kürzerer Zeit liefern würden.

Als Nachteil des Seelendrahtes wird vielfach darauf hingewiesen, daß er modernen anderen Stäben gegenüber zu langsam schweiße. Dieser Einwand gegen die Seelendrähte hat zum Teil seine Berechtigung. Es sei aber darauf verwiesen, daß das oberste Gesetz in der Konstruktion immer die Sicherheit sein muß. Und verwiesen sei auch darauf, daß eine übertriebene Schnellschweißung die Sicherheit gefährdet, wie wir bereits in der erwähnten Abhandlung ausführten). Wir brauchen, um den Grundwerkstoff anschmelzen und einbrennen zu können, Wärme. Was der Mantelstab mehr an Wärme als andere Elektroden in die Verbindung schickt, ist eine Hitze, die zu spät einsetzt, die nicht den vom Bad noch nicht überströmten Grundwerkstoff trifft. Was den Hüllen als exotherm wirkende Substanzen beigegeben wird, kommt ebenfalls nicht dem Einbrand zugute, sondern der Verflüssigung des Schweißstabes. Und um das Schweißgut in der rechten Lagenstärke zu verteilen, um die Naht nicht auflaufen zu lassen, muß man vorwärtseilen. Der Lichtbogen hat nicht mehr ausreichend Zeit zur Aufwärmung des Grundwerkstoffes, zum Einbrand. Auch dieser Punkt hat bei der Bewertung der Schnellschweißung mitzu-

Draht-Sorte	Elektr. Stärke in Ø mm	Längsschnitt über 50 mm einfache Raupe		Elektr. Stärke in Ø mm	Querschnitt Kehlnaht Ø mm
		Sr 37 10 x 100 x 150 mm	Sr 70 10 x 100 x 150 mm		
Seelenelekt. 1	5	152 mm ²	120 mm ²	4	16 mm ²
Seelenelekt. 2	5	165 mm ²	105 mm ²	4	16 mm ²
Seelenelekt. 3	5	140 mm ²	102 mm ²	4	13 mm ²
Mantelelekt. 2	5	157 mm ²	105 mm ²	4	12 mm ²
Mantelelekt. V	5	70 mm ²	65 mm ²	4	12 mm ²
Mantelelekt. U	—	—	—	4	12,4 mm ²
Mantelelekt. P	—	—	—	4	100 mm ²

Abb. 4: Längs- und Querschnitt bei versch. Elektr. und Stählen

sprechen. Und schließlich: Schnellschweißung ist nicht in jedem Falle gleichbedeutend mit Zeitgewinn. Entscheidend ist die Zeit, die benötigt wird, ein Schweißgut bestimmter Bemessung einzubringen.

Schnellschweißstäbe, die es übrigens auch unter den Seelendrähten gibt, tragen gleichzeitig auch verhältnismäßig dünne Raupen auf. Am besten wertbar haben sich wohl die Waggonbauer mit diesen Fragen auseinandergesetzt. In einer

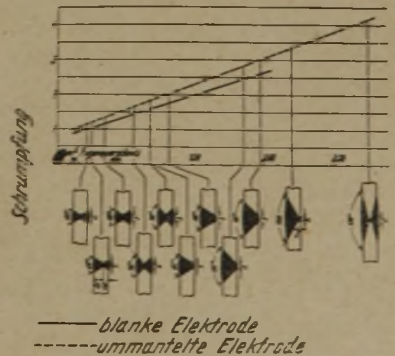


Abb. 5: Schrumpfung von Stumpfnähten. Blechdicke 12 mm (nach Bierett)

5) St. u. E. 1938, H. 14, S. 378/81.

Reihe von Großversuchen wurde, soweit wir hierüber unterrichtet sind, ermittelt, daß lange, dünne und einlagige Kehlnähte schneller mit Mantelstäben herzustellen sind als mit Seelenelektroden. Bei mehrlagigen oder starken Nähten, aber auch bei kurzen, unterbrochenen Einlagennähten ist dagegen der Seelendraht auch zeitlich vorteilhafter als der Mantelstab, der, angebracht, bei jeder neu

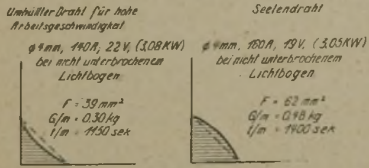


Abb. 6: Kehlnaht 10 mm

anzusetzenden Naht erst an der Zündfläche wieder blank zu schaben bleibt. Bei Manteldrähten ist eben die Rüstzeit eine größere als bei Seelendrähten. Aus der Abb. 6 ist der grundlegende Unterschied in der „Schweißgeschwindigkeit“ zum Mantel- und Seelendraht zu ersehen. Wählt man als Maßstab nur die Länge einer einlagigen Naht, die in der Zeiteinheit hergestellt werden kann, so ist der Manteldraht zweifellos überlegen. Anders aber wird es schon, wenn man nicht die Länge der Naht, sondern die niedergeschmolzene Mantelmasse als Maßstab nimmt. Bei solcher Bewertung ist dann der Seelendraht häufig nicht mehr im Nachteil. Im übrigen erfährt das Bild bei stärkeren Nähten noch eine wesentliche Verschiebung durch die Eigenart des Seelendrahtes in der Kehlnaht, wie erwähnt, größere Elektrodendurchmesser zuzulassen. Auch für Stumpfnähte, die nicht als Einlagennähte ausgeführt werden können, gilt die vorteilhafte Eigenschaft der Seelenelektrode. Bei Senkrecht- und Überkopparbeiten kommen zu diesen Fragen auch noch andere Umstände, nämlich die Sicherheit der Schweißung überhaupt, die auf das Bild Einfluß haben. Damit ist das Wesentliche gesagt, was über die vergleichsweise Wirtschaftlichkeit der Seelen- und Manteldrähte vorgebracht werden kann. Jedenfalls ist auch bei der Aufstellung einer Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht einfach eine Elektrodenart allgemein als die vorteilhaftere hinstellbar. Auch dabei hängt es ganz von der

jeweils gestellten Aufgabe ab, bei welcher Schweißstabart die günstigeren Arbeitskosten zu erzielen sind. Sie werden sich nun sagen, daß die Entwicklung der letzten Jahre nicht im Einklang mit den hier vorgebrachten Ansichten steht. Jeder weiß, daß der Verbrauch der Manteldrähte mehr gestiegen ist als der der Seelendrähte. Dieser Umstand ist, wie auch die meisten wissen, nicht allein dem technischen Verdienst der einen oder anderen Elektrode, sondern den Vorschriften und Abnahmebedingungen zuzuschreiben, die für Kerbzähigkeit und Biegewinkel Werte vorschreiben, die mit Seelendrähten nicht erreicht werden. Ein Beweis für die Notwendigkeit der hohen Kerbzähigkeit und Biegewinkelwerte ist nicht erbracht worden. Man schiebt sie einfach vor, weil sie erreichbar sind.

Aus dem Vorgehenden darf man aber keineswegs den Schluß ziehen, daß die Manteldrähte nicht für manche Fälle der gegebene Zusatzwerkstoff sind. Solche Fälle liegen z. B. vor bei ausgesprochener Schnellschweißung, in Fällen, wo glatte Naht erforderlich ist, bei Kesselschweißung, bei hochlegierten Drähten, wo überhaupt kein anderer Ausweg übrigbleibt. Der Entwicklung und Erzeugung der Mantelelektroden ist dieselbe Aufmerksamkeit zuzuwenden wie den Seelendrähten. Es würde aber dem Fortschritt und dem Reichtum deutscher Technik abträglich sein, die eine Art bloß durch Vorschriften ungebührlich zurückzudrängen.

Zusammenfassung

Die Wahl des richtigen Schweißdrahtes ist für die Anwendungsmöglichkeit der Schweißung von grundlegender Bedeutung. Die Sicherheit der Schweißverbindungen zu gewährleisten, schreiben die Behörden gewisse Mindestwerte an Festigkeit, Dehnung, Biegewinkel und Kerbzähigkeit vor. Trotz dieser Vorschriften sind Schadensfälle aufgetreten. Von den Verfassern wird angenommen, daß neben dem Grundwerkstoff auch die Arbeitseigenschaften der Schweißdrähte hierfür verantwortlich wären. Damit ist in erster Linie der die Raupenwurzelecken erfassende Einbrand gemeint, der in den Vorschriften nicht einbezogen ist.

In der Arbeitsgeschwindigkeit sind bei einlagigen dünnen Nähten die Manteldrähte überlegen. In anderen Fällen läßt sich eine allgemeine Aussage nicht machen.

Schweißen von Leichtmetallen und seinen Legierungen*)

Von Dr.-Ing. Emil von Rajakovics, Dürener Metallwerke AG., Berlin-Borsigwalde

Vor etwa vier Monaten habe ich an dieser Stelle, auf der Leichtbautagung, über die Verarbeitung der Leichtmetalle durch spanlose Formung und Nietung gesprochen, Gebiete, die für den Flugzeugbau von besonderer Wichtigkeit sind. Meine heutigen Ausführungen beschäftigen sich mit jener Verbindungsart, der für die Verwendung der Leichtmetalle im Fahrzeugbau, im Behälter- und Apparatebau sowie auf dem Gebiet der architektonischen Ausstattung besondere Bedeutung zukommt. Da der folgende Vortrag des Herrn Dipl.-Ing. Siemers die Widerstandsschweißung der Leichtmetalle behandelt, will ich mich auf die Anwendung der Schmelzschweißung beschränken.

Die praktisch verwendeten Leichtmetalle können grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt werden:

1. Aluminium und Aluminiumlegierungen, d. h. Legierungen, die mehr als 85 v. H. Aluminium enthalten.
2. Magnesiumlegierungen, d. h. Legierungen, die mehr als 88 v. H. Magnesium enthalten.

Bei beiden Gruppen kann man einerseits Knetlegierungen, das sind Legierungen, die durch bildsame Formgebung, also durch Pressen, Walzen, Ziehen und Schmieden zu Halbzeugen verarbeitet werden, und andererseits Gußlegierungen unterscheiden.

Die gebräuchlichsten Aluminium - Knetlegierungen enthalten 91 bis 98 v. H. Reinaluminium und weisen spezifische Gewichte zwischen 2,6 und 2,8 auf. Im Normblatt DIN 1713 sind die Aluminiumlegierungen nach Gattungen zusammengestellt. Die

* Abb. des Verfassers

höchsten Festigkeitseigenschaften weist die Gattung Al-Cu-Mg auf, deren ältester Vertreter das „Duralumin“¹⁾ ist. Diese Legierungsgattung erreicht Zugfestigkeiten bis zu 5500 kg/cm², und somit Festigkeiten, die mindestens denen der normalen Baustähle entsprechen. Die Magnesiumlegierungen kommen unter den Namen „Elektron“, „Magnedur“ oder „Magnewin“ auf den Markt. Sie sind im DIN-Entwurf 1717 nach Gattungen zusammengestellt. Ihr spezifisches Gewicht liegt zwischen 1,78 und 1,85. Falls man keinen zu großen Verlust an Formänderungsvermögen in Kauf nehmen will, erreicht man mit der Legierungsgattung Mg-Al9 Zugfestigkeiten bis zu etwa 3700 kg/cm². Grundsätzlich lassen sich alle Leichtmetall-Legierungen schweißen, wenn auch bezüglich der Länge der Nähte für einzelne Legierungen Beschränkungen bestehen. Es lassen sich folgende Schmelzschweißverfahren anwenden:

A. Für Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen:

1. Die Gasschmelzschweißung.
2. Die Arcatomschweißung.
3. Die Lichtbogenschweißung mit ummantelter Elektrode.
4. Das Weibelverfahren.

B. Für Aluminium-Gußlegierungen sind die gleichen Verfahren wie für Knetlegierungen mit Ausnahme des Weibelverfahrens anwendbar. „Silumin“-Gußteile²⁾ werden manchmal auch mit dem Kohle-Lichtbogen ausgebessert.

C. Für Magnesiumlegierungen ist bisher nur die Gasschmelzschweißung anwendbar.

Im folgenden sollen die Eigenheiten der vorerwähnten Verfahren bei der Anwendung auf Leichtmetall und die mit ihnen erzielbaren Festigkeitseigenschaften näher erläutert werden.

1. Die Gasschmelzschweißung

Die Gasschmelzschweißung ist das gebräuchlichste Verfahren, das bei Knetlegierungen Wandstärken über etwa 1 mm einwandfrei zu verschweißen gestattet.

Als Gasgemisch wird vor allem Azetylen-Sauerstoff verwendet. Für dünne Bleche wird wegen der weicheren Flamme manchmal auch Wasserstoff, seltener Benzoldampf, Propan oder Leuchtgas verwendet. Die Flammeneinstellung soll stark sauerstoffarm sein.

Die zum Schweißen von Eisen verwendeten Brillen sind für eine gute Beobachtung des Schweißvorganges zu dunkel. Man verwendet daher eigene blaugrüne Brillen, die so hell sind, daß man damit noch leicht Zeitungsdruck lesen kann.

Fehlschläge, die früher beim Schweißen von Leichtmetall-Legierungen zu verzeichnen waren, sind vor allem auf die Nichtanwendung oder falsche Anwendung von Flußmitteln sowie auf mangelnde Sorgfalt in der Behandlung der Nähte vor und nach dem Schweißen zurückzuführen.

Das Flußmittel muß die an der Oberfläche des Metalles befindliche Oxydhaut — deren Schmelzpunkt mit 2050°C weit über dem oberen Schmelzpunkt der Aluminiumlegierungen (575 bis 655°C) liegt — lösen und durch sein geringes spezifisches Gewicht an die Oberfläche der Schweißnaht bringen. Die Anwendung der Flußmittel erfolgt bei Aluminium-Knetlegierungen in Form eines ziemlich dicken Breies, wobei sowohl

die Schweißkanten als auch der Zusatzdraht sparsam mit Flußmittel bestrichen werden. Beim Schweißen dicker Profile oder bei Instandsetzungsarbeiten an Gußstücken wird jedoch meist das trockene Schweißpulver nur auf den erwärmten Zusatzstab aufgebracht.

Die üblichen Flußmittel haben die Neigung, aus der Luft Wasser anzuziehen. Auf der Naht verbleibende Flußmittelreste werden daher feucht und greifen das Metall an. Solche Flußmittel dürfen daher nur dort verwendet werden, wo eine vollständige Entfernung der Flußmittelreste möglich ist. Diese erfolgt bei den Aluminiumlegierungen durch sorgfältiges Abwaschen mit warmem Wasser, einer nachfolgenden Behandlung mit zehnpromzentiger Salpetersäure und gründlichem Nachspülen mit reinem Wasser. Guß bewährt haben sich die Flußmittel „Autogal“ und „Firinit“, deren einzelne Abarten den verschiedenen Legierungsgattungen angepaßt sind. Für die meisten Gattungen wird „Autogal A“ bzw. „Firinit M“ verwendet, während für die Gattung Al-Mg vor allem „Autogal D“ bzw. „Firinit HM“ in Frage kommt.

Wo die Entfernung von Flußmittelresten nicht möglich ist (z. B. bei Kehlnaht- oder Überlapptschweißungen), muß ein nichthygroscopisches Flußmittel (z. B. „Autogal N“) verwendet werden. Dieses ist aber erheblich teurer als die gewöhnlichen Flußmittel und außerdem etwas weniger wirksam. Auf Legierungen der Gattung Al-Mg mit einem Magnesiumgehalt über etwa 5 v. H. sind diese Flußmittel nicht anwendbar.

Bei der Nahtanordnung ist unbedingt darauf zu achten, daß sowohl ein gutes Durchfließen des Schweißgutes als auch eine leichte Entfernbarekeit der Flußmittelrückstände gewährleistet ist. Überlappt- und Kehlnahtschweißungen sind daher möglichst zu vermeiden.

Als Zusatzwerkstoff soll im allgemeinen immer die Legierung der zu verschweißenden Teile verwendet werden, und zwar in Form von gebeizten Schweißdrähten. Die Drahtdurchmesser werden zweckmäßig etwa gleich der zu verschweißenden Werkstückdicke gewählt. Bei der Schweißung von Reinaluminium wird, zur Erzielung eines feinkörnigen Gefüges, öfters auch ein titanhaltiger Zusatzdraht verwendet.

Grundsätzlich sind alle Aluminium-Knetlegierungen schweißbar. Bei den Legierungen der Gattung Al-Mg mit mehr als 7 v. H. Mg lassen sich jedoch wegen des großen Erstarrungsbereiches nur verhält-

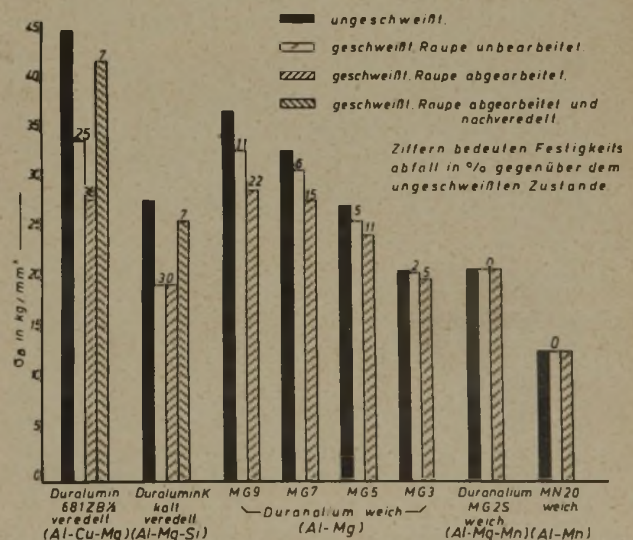


Bild 1: Zugfestigkeit geschweißter 1-mm-Bleche. Gasschmelzschweißung

¹⁾ Die in dieser Abhandlung genannten Werkstoffbezeichnungen „Duralumin“, „Duralplat“, „Aldural“, „Duraluminium“, „Polital“ und „Magnedur“ sind den Dürener Metallwerken geschützte Wortmarken.

²⁾ „Silumin“, geschütztes Warenzeichen der Silumin-Gesellschaft.

nismäßig kurze Nähte herstellen. Abb. 1 zeigt die Zugfestigkeiten geschweißter 1-mm-Bleche. Die hier dargestellten Werte sind Mittelwerte aus einer größeren Anzahl von Versuchsschweißungen. Bei der Berechnung von Konstruktionen ist aber auch noch der Einfluß von Schweißfehlern, deren Häufigkeit von der Form der zu verschweißenden Teile, von der Lage der Nähte und von der Geschicklichkeit des Schweißers abhängig, zu berücksichtigen. Mit zunehmender Werkstückdicke sinkt die Festigkeit etwas ab (Abb. 2).

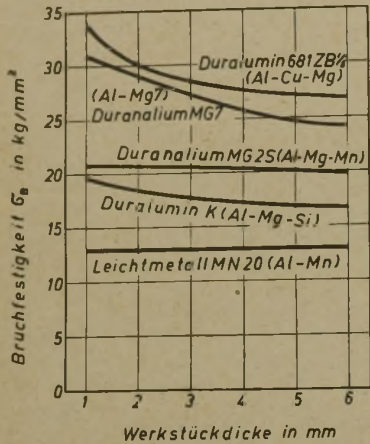


Bild 2: Einfluß der Werkstückdicke auf die Zugfestigkeit mit Azetylen-Sauerstoff geschweißter Aluminiumlegierungen. Raupe unbearbeitet

geschweißter Legierungen. Die Versuche wurden nach dem DVL-Schnellprüfverfahren im Rührgerät bei Verwendung einer dreiprozentigen Kochsalzlösung unter Zusatz von 0,1 v. H. Wasserstoffsperoxyd an 1-mm-Blech ausgeführt. Die Versuchszeit von 24 Wochen würde, bei einem Umrechnungsfaktor von 1:18, einem Seewasserangriff von über acht Jahren entsprechen. Aus dem Bild ist zu ersehen, daß die Festigkeitseigenschaften der Legierungen „Duralumin K“, „Duranalinium MG 2S“ und „Leichtmetall MN 20“ vollkommen unverändert geblieben sind. Auch bei der Legierung „Duranalinium MG 3“ tritt durch den Korrosionsversuch nur eine geringfügige Änderung der Festigkeitseigenschaften im geschweißten Zustand ein. Die Legierungen der Gattung Al-Mg mit mehr als 5 v. H. Mg zeigen jedoch mit steigendem Magnesiumgehalt eine durch das Schweißen verringerte Korrosionsbeständigkeit. Bei den Al-Cu-Mg-Legierungen wird sie, auch im plattierten Zustand, durch das Schweißen noch stärker herabgesetzt, kann aber hier durch eine Nachveredlung wieder verbessert werden. Wo diese Maßnahme jedoch nicht durchführbar oder kein Schutzanstrich vorgesehen ist, kann man durch ein Spritz-

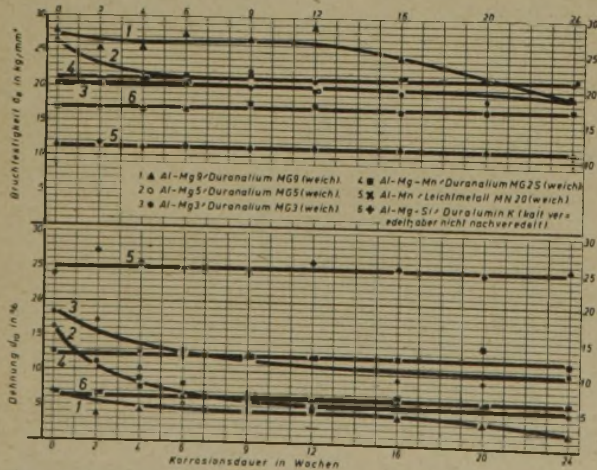


Bild 3: Korrosionsversuche an geschweißten Aluminiumlegierungen im Rührgerät (3 v. H. NaCl + 0,1 v. H. H₂O₂). 1-mm-Blech. Gasschmelzschweißung. Raupe unbearbeitet

plattierverfahren die Korrosionsbeständigkeit wesentlich verbessern bzw. erhalten.

Abb. 4 zeigt Versuchsergebnisse³⁾ an 1-mm-Blechen aus „Duralplat“ (Al-Mg-Si-Plattierung) und „Aldural“ (Reinaluminium-Plattierung). Bei der Erprobung im Rührgerät nach dem DVL-Schnellprüfverfahren ergab sich, daß im geschweißten und nicht nachbehandelten Zustand sowohl bei „Duralplat“ (Linie I) als auch bei „Aldural“ (Linie II) ein anfänglich zwar langsamer, dann aber sehr rascher Abfall der Festigkeitseigenschaften durch die Korrosion eintritt. Hingegen zeigen die mit „Duralumin K“ (Al-Mg-Si) längs der Schweißnaht spritzplattierten „Duralplat“-Bleche auch nach 16 Wochen noch keine Veränderung der Festigkeitseigenschaften (Linie III). Dies würde einem Naturseewasserangriff von etwa 5 1/2 Jahren entsprechen.

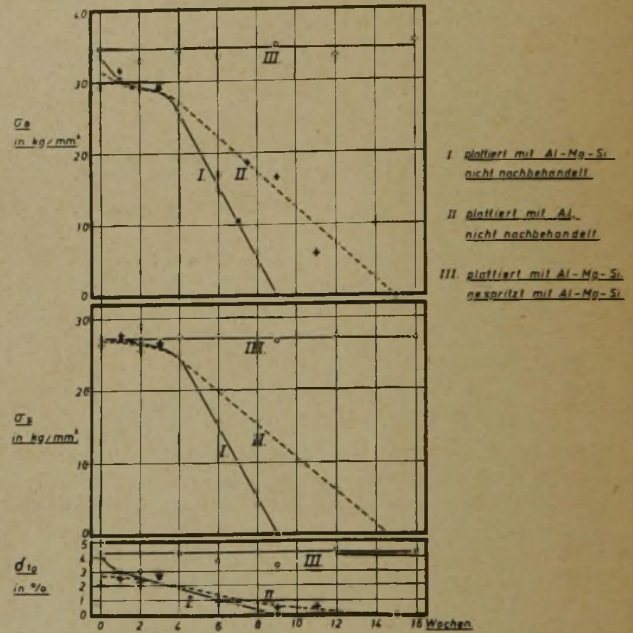


Bild 4: Korrosionsversuche an geschweißten Blechen aus „Duralplat“ und „Aldural“ im Rührgerät (3 v. H. NaCl + 0,1 v. H. H₂O₂). 1-mm-Blech. Arcatomschweißung. Raupe unbearbeitet

Das Schweißen von Aluminium-Gußlegierungen zeigt keinen grundsätzlichen Unterschied gegenüber den Knetlegierungen. Es handelt sich hier naturgemäß vorwiegend um Instandsetzungsarbeiten. Silumin u. f. ist verhältnismäßig wenig spannungsempfindlich und kann auch ohne Flußmittel geschweißt werden; ein gutes Flußmittel erleichtert jedoch die Arbeit. Die amerikanische Legierung (Gattung G Al-Cu) und die deutsche Legierung (Gattung G Al-Zn-Cu) weisen eine größere Spannungsempfindlichkeit in der Wärme auf, die in der Ausscheidung von Kupfer und Zink begründet ist.

Sollen Risse zugeschweißt werden, so müssen die Enden zur Vermeidung weiterer Risse abgebohrt werden. Der Riß selbst ist durch Bohren oder Fräsen zu einer Fuge zu erweitern.

Große Stücke müssen in einem besonderen Glühofen (oder behelfsmäßig im Holzkohlenfeuer) auf etwa 400°C angewärmt werden. Wenn möglich soll das Stück auch zum Schweißen im Ofen bleiben.

Beim Schweißen von Magnesium-Knetlegierungen sind gegenüber den Aluminiumlegierungen noch einige Besonderheiten zu beachten, wenn auch im allgemeinen die gleichen Grundregeln gelten. So

³⁾ E. v. Rajakovics, Schmelzschweißen von Aluminiumlegierungen, Rundschau Deutscher Technik 1938, Nr. 17, S. 4.

sind eigene Flußmittel (z. B. Elektrogal oder Firinit EB) zu verwenden, wobei diese bis 2,5 mm Wandstärke in flüssiger Form benutzt werden. Nach dem Abwaschen der Flußmittelreste werden die Schweißnähte in einer Salpetersäure-Alkalibichromat-Lösung gebeizt und dann in heißem Wasser (etwa 60 bis 70°C), das 5 v. H. Kaliumbichromatzusatz enthält, nachgespült. Um eine möglichst hohe Korrosionsbeständigkeit zu erzielen, empfiehlt es sich, die Teile zwei Stunden im Wasser mit 5 v. H. Kaliumbichromatzusatz zu kochen oder sie mehrere Stunden (z. B. über Nacht) darin liegenzulassen. Nachher sind die Werkstücke sorgfältig zu trocknen.

Das beim Schweißen auftretende Verziehen der Werkstücke kann durch Warmhämmern der Nähte bei 300°C beseitigt werden. Dies gilt jedoch nur für die Legierungsart Mg-Mn (z. B. „Maanedur W 380“). Die übrigen Magnesiumlegierungen sind nur beschränkt schweißbar, d. h. es können nur kurze Nähte ausgeführt werden. Vor der praktischen Verwendung sind alle Schweißnähte zu lackieren.

Die Zugfestigkeit geschweißter Bleche von 1 bis 2 mm Dicke ist für die Gattung Mg-Mn etwa 12 kg/mm², d. h. der Festigkeitsabfall gegenüber dem ungeschweißten Werkstoff beträgt etwa 40 v. H. Falls eine Durchschmelzung der Naht bei 300°C möglich ist, kann der Festigkeitsverlust bis auf etwa 10 v. H. verbessert werden. Bei den hochfesten Legierungsarten, die, wie bereits erwähnt, nur beschränkt schweißbar sind, beträgt der Festigkeitsabfall 30 bis 50 v. H.

Das Schweißen von Magnesium-Gußelegierungen ist sowohl im Hinblick auf die Gefahr von Spannungsrissen als auch von Salzeinschlüssen ziemlich schwierig. Die Gußstücke müssen langsam auf etwa 300°C angewärmt werden. Um ein Brennen des Metalls infolge der durch die größeren Wändicken bedingten stärkeren Wärmeansammlung zu vermeiden, soll auch die Unterseite der Schweißstelle mit Flußmittel bestrichen werden. Da infolge der größeren Wändicken mit stärkerer Flamme gearbeitet werden muß, ist zur Vermeidung von Salzeinschlüssen auf eine besonders ruhige Brennerführung zu achten. Auch der Zusatzdraht soll aus diesem Grund während des Schweißens möglichst nicht aus dem Schmelzbad herausgenommen werden.

2. Die Arcatomschweißung

Das Arcatomverfahren ist bekanntlich ein gas-elektrisches Verfahren, bei dem zwischen zwei dünnen Wolfram-Elektroden ein Wechselstrom-Lichtbogen in einem Schutzmantel von Wasserstoff brennt. Aus den als Rinndüsen ausgebildeten Elektrodenhaltern wird den Wolframstäben Wasserstoff zugeführt, so daß dieser in der Nähe der weitälühenden Elektrodenspitzen aus dem molekularen in den atomaren Zustand übergeht. Beim Auftreffen der hocherhitzten Atome auf das kältere Werkstück findet eine Rückverwandlung in den molekularen Zustand statt. Die hierbei frei werdende Wärme erhöht die Schmelzwirkung des Lichtbogens. Die große örtliche, zusammengeballte Wärmezufuhr wirkt sich dadurch günstig aus, daß sie gestattet, die gut wärmeleitenden Leichtmetalle meist ohne Vorwärmung zu verschweißen. Hieraus ergibt sich der Vorteil einer hohen Schweißgeschwindigkeit und schmalen Wärmeinfluzone. Durch die Möglichkeit, die Werkstücke festzuspannen, können Verwerfungen weitgehend vermieden werden. Diese Vorteile wirken sich insbesondere beim Schweißen von „Duralumin“ aus, wo auf diese Art höhere

Festigkeitswerte erzielt werden können. Die Abb. 5 und 6 zeigen die Ergebnisse von Vergleichsuntersuchungen⁴⁾ zwischen der Gasschmelzschweißung und der Arcatomschweißung. Die dargestellten Werte sind Mittelwerte aus einer großen Anzahl betriebmäßig durchgeführter Schweißungen an den Legierungen „Duranalium M 7“ und „Duranalium MG 9“ (Gattung Al-Mg-Si), „Polital“ und „Duralumin K“ (Gattung Al-Mg-Si) sowie „Duralumin 681 B“, „Duralumin 681 ZB^{1/2}“ und „Duralumin DM 31“ (Gattung Al-Cu-Mg). Es zeigt sich, daß für die „Duralumin“-Legierungen der Gattung Al-Cu-Mg nach dem Arcatomverfahren im Mittel um etwa 2 bis 6 kg/mm² höhere Zugfestigkeiten erreicht werden können. Durch die Anschaffungskosten des Schweißgerätes, den Elektroden- und Wasserstoffverbrauch stellt sich diese Schweißart allerdings etwas teurer als die Gasschmelzschweißung. Gegenüber

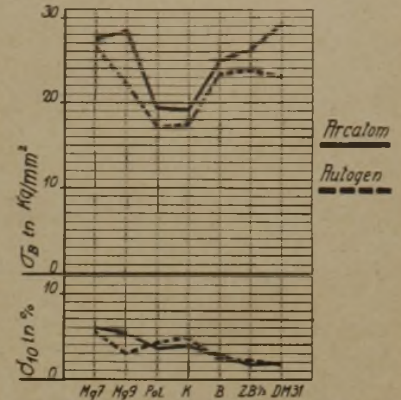


Bild 5: Vergleich zwischen Arcatom- und Gasschmelzschweißung. 1-mm-Blech. Raupe abgearbeitet

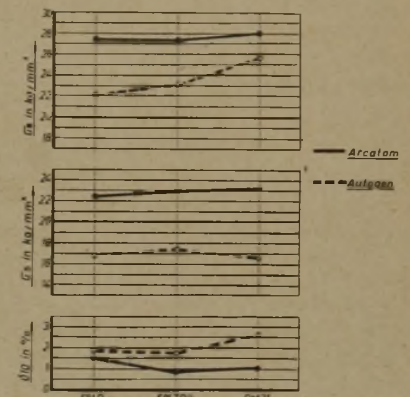


Bild 6: Vergleich zwischen Arcatom- und Gasschmelzschweißung. 6-mm-Blech. Raupe abgearbeitet

der im nachfolgenden behandelten Lichtbogenschweißung mit ummantelter Elektrode bietet das Arcatomverfahren zwei Vorteile. So ist die Schweißung nicht auf Bleche über 2 mm beschränkt, sondern in manchen Fällen bis zu Blechstärken von 0,3 mm herab durchführbar. Ferner brennt die ummantelte Elektrode nach einer gewissen Schweißnahtlänge ab. Sie muß dann durch eine neue ersetzt und die Naht von den Schlackenrückständen gesäubert werden. Beim Arcatomverfahren entfallen ebenso wie bei der Gasschmelzschweißung diese Arbeitsgänge. Die Durchführung der Arcatomschweißung entspricht im übrigen der Gasschmelzschweißung, da man sich den in Wasserstoff eingehüllten Arcatomlichtbogen sozusagen als eine „elektrische Flamme“ vorstellen und ebenso anwenden kann.

3. Die Lichtbogenschweißung mit ummantelter Elektrode

Für die Lichtbogenschweißung von Aluminium-Legierungen wurden in neuerer Zeit die sogenannten Verall-B-Elektroden entwickelt. Mit diesen ummantelten Elektroden konnten z. T. recht brauchbare Ergebnisse an Blechen über 2 mm Stärke erzielt werden⁵⁾. Bei dieser Schweißart erübrigt sich die Anwendung eines Flußmittels, weil dieses in der Elektrodenumhül-

⁴⁾ E. v. Rajakovics, Untersuchungen an geschweißten Aluminiumlegierungen. Zeitschrift für Metallkunde 1937, Heft 9, S. 315—318.

⁵⁾ C. Audter, Die Fortschritte der Metall-Lichtbogenschweißung des Aluminiums und seiner Legierungen. Zeitschrift für Metallkunde 1937, Heft 9, S. 310—315.

lung enthalten ist. Da die Elektrode nicht nur als Stromzuführung, sondern auch als Zusatzwerkstoff dient, muß sie aus der gleichen Legierung wie das zu verschweißende Werkstück sein. Auch die Ummantelungen müssen sich den verschiedenen Legierungen anpassen. Gearbeitet wird mit Gleichstrom, wobei die Elektrode am positiven Pol angeschlossen wird.

Vergleichsversuche⁶⁾ zwischen der Gasschmelzschweißung und der Lichtbogenschweißung mit ummantelter Elektrode haben ergeben, daß, vom Festigkeitsstandpunkt aus gesehen, vor allem für „Duralumin K“ bzw. „Polital“ (Gattung Al-Mg-Si) eine der Autogenschweißung etwa gleichwertige Lichtbogenschweißung erzielt werden kann. Auch die Treffsicherheit, d. h. die Ausnützung der laboratoriumsmäßig erhaltenen Zugfestigkeitswerte bei betriebsmäßiger Schweißung ist für diese Legierungsgattung bei der Lichtbogenschweißung größer (Abb. 7). „Duralumin 681 ZB^{1/3}“ (Gattung Al-Cu-Mg) ergibt zwar etwa gleiche laboratoriumsmäßig erzielbare Festigkeitswerte bei beiden Schweißarten, jedoch ist die Treffsicherheit beim betriebsmäßigen Schweißen für die Lichtbogenschweißung geringer. Für „Duralium“ (Gattung Al-Mg und Al-Mg-Mn) müßten die Ummantelungen der Elektroden noch verbessert werden, um in bezug auf Festigkeit und Treffsicherheit an die Gasschmelzschweißung heranzukommen. Dies ist auch in Abb. 8 am Beispiel für „Duralium MG 5“ erkennbar.

4. Das Weibel-Verfahren

Von A. S. und H. Weibel wurde im Laufe der letzten Jahre ein neuartiges elektrisches Schweißverfahren ausgearbeitet, das sich weder unter die elektrische Widerstandsschweißung noch unter die Lichtbogenschweißung einreihen läßt. Das Verfahren eignet sich zum Schweißen von Dünnblechen (etwa 0,2 bis 1,5 mm). Die Blechkanten werden bei Stoßnähten zweckmäßigerweise ähnlich wie bei der Gasschmelzschweißung aufgebördelt, jedoch können auch Ecknähte dünnwandiger Werkstücke verschweißt

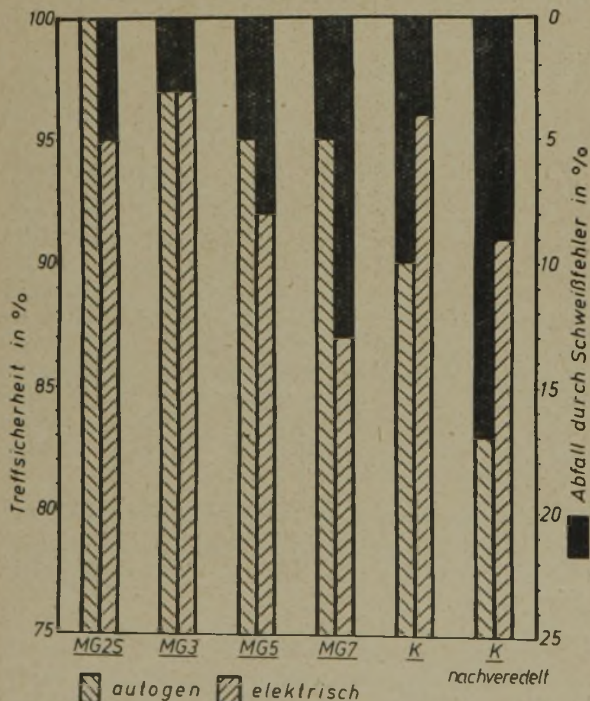


Bild 7: Vergleich der Treffsicherheit bei Gasschmelz- und bei Lichtbogenschweißung. 4-mm-Blech

⁶⁾ E. v. Rajakovics, Vergleichende Untersuchungen über Autogen- und Lichtbogenschweißung einiger Aluminiumlegierungen. Metallwirtschaft 1938, Heft 24, S. 662—664.

werden. Nur die Unterseite der zusammengestoßenen Blechkanten wird sparsam mit Flußmittel bestrichen. Der Schweißapparat besteht im wesentlichen aus zwei von niedrigem Wechselstrom (4 bis 8 V) durchflossenen hochschmelzenden Elektroden (Kohlen). Diese werden vor Beginn der Schweißung durch Kurzschließen auf helle Rotglut erhitzt und dann den zusam-

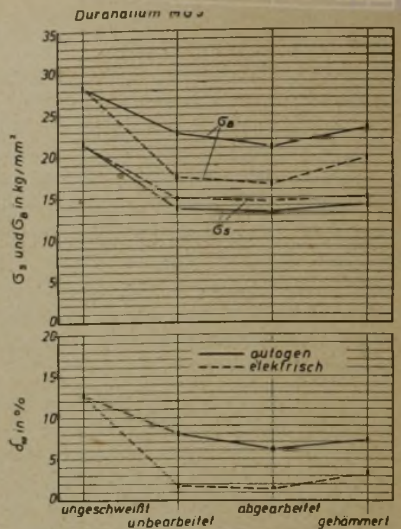


Bild 8: Vergleich zwischen Lichtbogen- und Gasschmelzschweißung an 4-mm-Blech aus „Duralium MG 5“

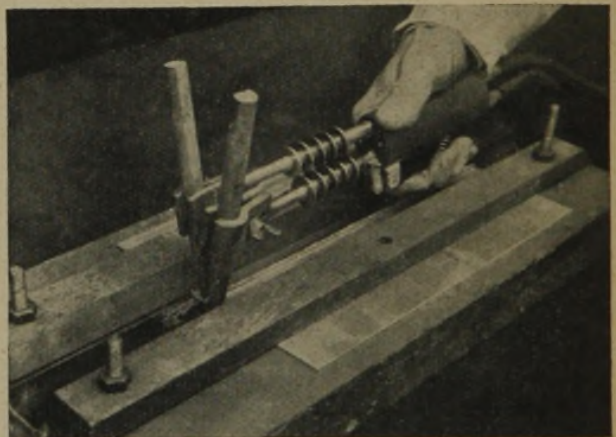


Bild 9: Das Schweißverfahren nach Weibel

menzuschweißenden Rändern entlang geführt (Abb. 9). Da hierbei kein nennenswerter Widerstand im Blech auftritt, wird die Stromwärme fast vollständig außerhalb des zu schweißenden Werkstoffes erzeugt. Es handelt sich somit um keine Widerstandsschweißung nach den bisherigen Begriffen, aber ebensowenig um eine Lichtbogenschweißung, da infolge der niedrigen Spannung kein Lichtbogen entstehen kann. Der Werkstoff wird vor allem durch die glühenden Elektroden des Schweißkolbens zum Schmelzen gebracht und fließt, ähnlich wie bei der Gasschmelzschweißung, in die Nahtfuge ein. Durch Lochbrand entstehende Fehlstellen können durch Niederschmelzen eines eingelegten Drahtes ausgebessert werden. In der gleichen Art lassen sich auch Bleche über 1,5 mm, die nicht mehr gebördelt werden, schweißen.

Der Schweißstrom wird bei den bisherigen Ausführungen von einem regelbaren Transformator (Abb. 10) geliefert. Der Leistungsverbrauch beträgt hierbei je nach der zu verschweißenden Blechstärke 400 bis 3500 Watt. Da kein Lichtbogen entsteht, kann, zumindest bei dünneren Blechen, ohne Brille gearbeitet werden.

Die Schweißgeschwindigkeit ist bei Wahl hoher Stromstärken groß und die erwärmte Zone schmal, so daß mit geringen Verwerfungen bei Verwendung geeigneter Einspannvorrichtungen zu rechnen ist.

Das Verfahren scheint für gewisse Anwendungsgebiete Aussichten auf Erfolg zu haben, doch müssen noch systematische Untersuchungen über die günstigsten Schweißbedingungen (Nahtvorbereitung, Elektroden-einstellung, Elektrodenwerkstoff, Stromstärke, Schweißgeschwindigkeit) für die verschiedenen Legierungsgattungen und Blechstärken durchgeführt werden.

Anwendungsgebiete der Schmelzschweißung

Der Karosseriebau verwendet in letzter Zeit in steigendem Maße Aluminium-Knetlegierungen und benützt hierbei naturgemäß weitgehend die auf dem Gebiete der Schweißung erzielten Fortschritte. Die französischen Nordbahnen haben im Waggonbau mit einer vor drei Jahren in Betrieb genommenen Mischbauweise so gute Erfolge erzielt, daß sie derzeit auf eine Voll-Leichtmetallbauweise übergehen. Hierbei werden Aluminium-Knetlegierungen der Gattung Al-Mg verwendet und ein Großteil der Verbindungsarbeiten als Schmelzschweißung ausgeführt.

Die Verwendung von Aluminiumlegierungen für die architektonische Innen- und Außen-

ausrüstung ist uns heute bereits eine Selbstverständlichkeit geworden. Und trotzdem wäre sie ohne die Schmelzschweißung kaum denkbar. Das gleiche gilt auch für den Apparate- und Behälterbau.

In Anbetracht der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Leichtmetalle ist es für den deutschen Ingenieur unerlässlich, sich mit diesen neuen Werkstoffen und ihrer Verarbeitung zu befassen, damit die Erfüllung der

uns vom Führer im Rahmen des Vierjahresplanes gestellten Aufgaben und Ziele möglich wird.

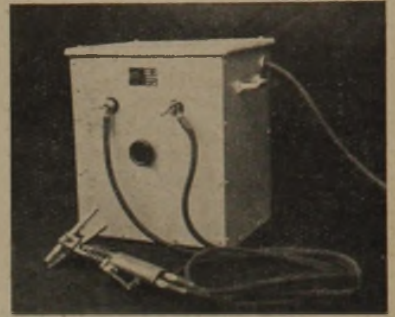


Bild 10: Transformator und Schweißapparat nach Weibel

Die elektrische Widerstandsschweißung von Leichtmetallen

Von Dipl.-Ing. K. Siemens, RWE., Essen

Für die Verschweißung von Leichtmetallen — das sind Al, Al-Legierungen und Mg-Legierungen — kommt von den Widerstandsschweißverfahren nur die einfache Stumpfschweißung, die Punkt- und Nahtschweißung in Frage, dagegen nicht die Abbrenn- oder Abschmelzschweißung, die bei der Verbindung von Stahl der einfachen Stumpfschweißung weitaus überlegen ist. (Bekanntlich besteht ein wesentlicher Unterschied schon in der Durchführung der einfachen Stumpfschweißung und der Abbrennschweißung.)

Die größte Bedeutung von genannten drei Verfahren dürfte bis jetzt für die Praxis wohl die Punkt-schweißung und dann die Nahtschweißung haben, während die Anwendung der Stumpfschweißung auf relativ wenige Spezialgebiete beschränkt bleibt.

Für die elektrische Widerstandsschweißung gilt ganz allgemein, daß die Schweißstellen der zu verbindenden Metalle durch den elektrischen Strom bis zum feigigen Zustand erhitzt und dann zusammengepreßt bzw. zusammengestaucht werden.

Das Temperaturintervall, bei dem sich die Leichtmetalle in feigigem Zustand befinden, ist — im Gegensatz zu Stahl — sehr klein. Aus diesen und noch anderen Gründen ist also, besonders bei aushärtbaren Al-Legierungen, neben der Steuerung des Preß- bzw. Stauchdruckes, eine genaue Dosierung und Führung der erzeugten Wärmemenge die Voraussetzung für eine einwandfreie Verschweißung. Diese Dosierung und Führung ist von einer ganzen Reihe Faktoren abhängig, deren Größen zum Teil nicht immer bekannt sind und zum Teil sich sogar während des Schweißvorganges wesentlich — und nicht immer voraussehbar — ändern können. Dies gilt besonders für die Punkt- und Nahtschweißung.

Die mangelnde Beherrschung einzelner Faktoren ist also — besonders bei den beiden zuletzt erwähnten Verfahren — Ursache, daß die Schweißung noch nicht in idealer Weise — als reine Preßschweißung — durchgeführt werden kann, sondern bis jetzt eine Kombination von Preß- und Schmelzschweißung darstellt,

ebenso kann dadurch bis jetzt keine absolute Gleichmäßigkeit der Schweißstellen erzielt werden, wie dies in vielen Fällen wünschenswert wäre.

Die Stumpfschweißung

kommt nur für einfache und kleine Querschnitte in Frage. Bei beispielsweise kreisrunden Querschnitten können solche mit einem Durchmesser zwischen 0,6 mm bis 30 mm verschweißt werden. Die hierfür erforderliche elektrische Leistung beträgt 0,5 KVA bis 75 KVA; die Spannung auf der Schweißstromseite des Transformators bei offenem Stromkreis etwa 2 bis 4 Volt; der Leistungsfaktor $0,6 \div 0,8$. Der Schweißstrom ist, entsprechend der von dem Schweißtrafo aufgenommenen bzw. abgegebenen Leistung und der sehr niedrigen Schweißspannung, relativ sehr groß, also im Mittel mehrere tausend Ampere. Der Stauchdruck beträgt etwa $\div 1,5 \text{ kg/mm}^2$.

Praktisch lassen sich fast alle Leichtmetalle (mit Ausnahme der Gußlegierungen) stumpf schweißen. Bei Al-Legierungen, besonders bei aushärtbaren Legierungen, ist zu beachten, daß durch den Schweißprozeß die Festigkeit und zum Teil auch die Korrosionsbeständigkeit vermindert wird. Durch entsprechende thermische Nachbehandlung, die in manchen Fällen unmittelbar nach dem Schweißen auf der Schweißmaschine erfolgt, kann dieser Nachteil mehr oder weniger beseitigt werden. Angewandt wird die Stumpfschweißung von Al und Al-Legierungen in Drahtziehereien, bei der Herstellung von Fahrradfelgen u. ä.

In der Praxis wird neben der Verschweißung von gleichartigen Leichtmetallen auch die von Al mit anderen Nichteisenmetallen durchgeführt, so z. B. Al mit Cu oder Bronze oder Messing. Eine Verschweißung von verschiedenen Metallen läßt sich allgemein um so besser durchführen, je leichter diese miteinander legieren und um so näher sich ihre Schmelzpunkte liegen. In manchen Fällen kann bei zwei verschiedenen Metallen, die sich direkt überhaupt nicht oder nur sehr schwer verschweißen lassen, unter Umständen ein

Erfolg erzielt werden, wenn zwischen dieselben ein drittes Metall gelegt wird, das sich an die Enden der zu verbindenden Metalle noch gut anschweißen läßt, und so eine Verbindung mit zwei — allerdings verschiedenen — Schweißstellen hergestellt wird. Dieses Verfahren ist zwar sehr teuer. Verwendung findet die Stumpfschweißung von Cu mit Al beispielsweise bei der Herstellung von „Stromübergangsklemmen“ für elektrische Installations- und Freileitungen. Es können aber naturgemäß keine zu hohen Ansprüche an die mechanische Festigkeit der Schweißverbindung gestellt werden, sie ist etwas spröde infolge der Anwesenheit von Cu-Aluminid, doch ist diese für obengenannten Zweck ausreichend. Eine Erhöhung des elektrischen Widerstandes in der Schweißstelle (die nachteilig wäre) ist praktisch nicht festzustellen. Natürlich muß die Schweißstelle gegen äußere Einflüsse entsprechend geschützt werden. Bei dem großen elektrischen Potentialunterschied zwischen Al und Cu und der Anwesenheit eines Elektrolyten — beispielsweise Luft — würde die Schweißstelle sehr rasch zerstört werden.

Die Stumpfschweißung von Magnesium kommt bis jetzt für die Praxis kaum in Frage, obwohl sich auch diese Schweißung innerhalb der oben angegebenen Querschnittsgrenzen durchführen läßt.

In Abb. 1 ist der prinzipielle Vorgang der Stumpfschweißung dargestellt. Die zu verschweißenden Leichtmetalle werden zwischen Backen (Einspannbacken) eingespannt, von denen meistens die beiden unteren direkt mit den Polen der Sekundärwicklung des Schweißtrafos verbunden sind. Hierauf werden die eingespannten Teile unter einem bestimmten Druck zur metallischen Berührung gebracht und dann der Schweißtrafo primärseitig eingeschaltet. Der nun fließende Strom erwärmt zuerst die Schweißstelle (infolge des hohen Übergangswiderstandes), das Metall wird an dieser Stelle nach kurzer Zeit teigig und z. T. auch flüssig, und infolge des dauernd wirkenden Druckes bei entsprechendem Nachschub der zu verschweißenden Teile nach außen gequetscht. Nach einer bestimmten Stromflußzeit, der auch ein bestimmter Stauchweg entspricht und nach der die Schweißenden genügend und gleichmäßig erwärmt sind, wird dieser abgeschaltet und die Pressschweißung unter dem Einfluß des Stauchdruckes vollendet. Die Verbindung selbst findet in teigigem Zustand statt. An der Schweißstelle entsteht ein tellerartiger Grat, welcher leicht entfernt werden kann.

Die Höhe der Temperatur und der Temperaturverlauf in der Schweißstelle und der Nähe derselben ist u. a. abhängig von dem Verhältnis der diesen Stellen innerhalb der Stromflußzeit zugeführten und von diesen

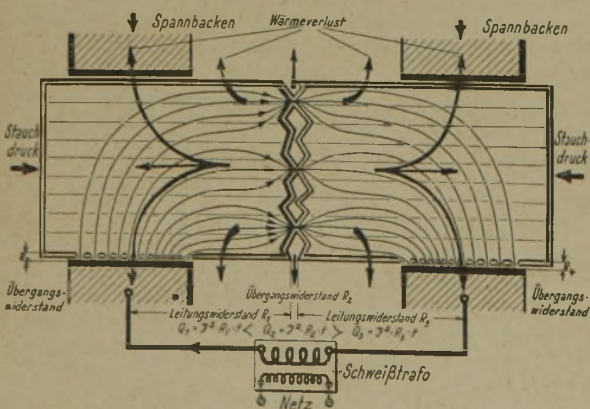


Abb. 1: Elektrische Stumpfschweißung, Stromverlauf

Stellen abgeführten Wärmemengen, also u. a. eine Funktion der elektrischen und thermischen Leitfähigkeit der zu verschweißenden Metalle. Bekanntlich ist die in einem Leiter erzeugte Wärmemenge $Q = I^2 R t$, wobei I der Strom, R der Ohmsche Widerstand und t die Stromflußzeit ist.

In den zwischen den Einspannstellen liegenden Schweißenden sind längs des Stromweges verschiedene Widerstände vorhanden (Abb. 1). Der für die Schweißung wichtigste ist der Übergangswiderstand an der Schweißstelle. Dieser soll sehr groß gegenüber den anderen Widerständen sein. Er ist u. a. abhängig von der wirksamen metallischen Berührungsfläche der Schweißenden, oder genauer gesagt, von der Anzahl der metallischen Berührungspunkte in diesen Flächen, und diese wiederum von der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Berührungsflächen, und dem Stauchdruck bzw. Preßdruck. Bekanntlich überziehen sich Leichtmetalle sehr rasch mit einer mehr oder weniger dicken, den elektrischen Strom sehr schlecht leitenden, Oxydschicht. Entsprechend der verschiedenen Widerstände längs des Stromweges, der für die Erwärmung der Schweißstelle in Frage kommt, werden auf diesem auch verschieden große Wärmemengen erzeugt (Abb. 1).

Der Wärmeverlust der erhitzten Schweißenden besteht 1. aus der Wärmeableitung in die nicht erwärmten, benachbarten Metallzonen. Dazu gehören neben Schweißwerkstoff noch die meistens gut gekühlten und mit großer Wärmekapazität behafteten Einspannbacken und 2. aus Konvektion und Strahlung. Letzteres ist besonders an der hochehitzten Schweißstelle der Fall. Durch richtige Abstufung der einzelnen Widerstände zueinander, d. h. durch richtige Wahl der Einspannlängen bei gegebenem Werkstoff und Schweißquerschnitt und richtigem Stauchdruck, durch genügend große Stromstärke und Schweißzeit, ferner durch entsprechende Führung des Wärmeverlustes, d. h. durch richtige Wahl von Größe und Werkstoff der Einspannbacken kann die Temperatur an der Schweißstelle so geführt werden, wie sie für die Schweißung am günstigsten und wirtschaftlichsten ist, und bei dem gewählten Stauchweg kein Stauchen in den kalten Werkstoff erfolgt.

Während der Schweißung verschwindet der Übergangswiderstand an der Schweißstelle, die an den Schweißenden vorhandene Oxydschicht wird beim Stauchen zum allergrößten Teil mit dem überhitzten Schweißwerkstoff nach außen gequetscht.

Der Übergangswiderstand an den Einspannstellen soll immer klein sein, d. h. die Einspannbacken und der zu verschweißende Werkstoff sollen an diesen Stellen immer sauber sein, um eine übermäßige Erwärmung an diesen zu vermeiden. Gefügebilder von durchgeführten Schweißungen gleichartiger Leichtmetalle sind in der Literatur bereits veröffentlicht.

Vorher erwähnte Gesichtspunkte sind beim Verschweißen ungleicher Metalle, zum Beispiel Cu mit Al, besonders zu beachten. Die elektrische und thermische Leitfähigkeit von Cu ist größer als von Al, ebenso liegt die Schmelztemperatur von Cu höher als von Al. Die Stromflußzeit für Cu bis zur Erwärmung desselben auf Schweißtemperatur ist größer als für Al (gleicher Strom und Querschnitt vorausgesetzt). Bei der Verschweißung dieser beiden Metalle wird also von dem Zeitpunkt ab, bei dem das Al teigig wird, bis zu dem Zeitpunkt, bei dem das Cu auf Schweißtemperatur gebracht ist, eine bestimmte Menge hochehitztes Al unter dem Einfluß des Stauchdruckes und bei entsprechendem Nach-

senes vom Al-Schweißende nach außen gequetscht. Um eine übermäßige Erwärmung desselben zu vermeiden, nimmt man eine relativ kleine Einspannlänge und führt die in den Schweißenden erzeugte Wärme so rasch wie möglich durch gute Kühlung der Cu-Einspann-

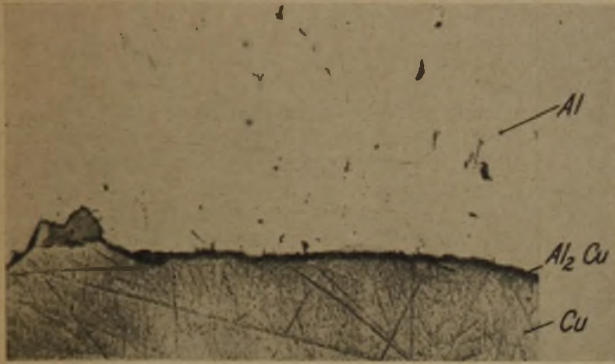


Abb. 2: Elektrische Stumpfschweißung, Stromverlauf

backen ab. Dagegen nimmt man auf der Cu-Seite eine verhältnismäßig große Einspannlänge und verwendet an Stelle der Cu-Einspannbacken solche aus Stahl mit geringer thermischer Leitfähigkeit und Wärmekapazität. Unter Umständen wird noch ein Teil der Einspannlänge durch einen Wärmeisolator abgedeckt. Auf diese Art und Weise erzielt man auf der Cu-Seite eine Wärmefangung, die für die Temperaturerhöhung an der Cu-Schweißstelle sehr vorteilhaft ist.

Manche Schweißfehler sind auf eine mangelhafte Beachtung der physikalischen Grundlagen zurückzuführen. In Abb. 2 ist ein Gefügebild einer Al-Cu-Schweißstelle dargestellt. Man erkennt, daß die Schweißung durch gegenseitige Diffusion und Legierungsbildung entstanden ist (auf der Cu-Seite hat sich Al-Bronze und auf der Al-Seite hat sich Cu-Aluminid gebildet).

Die Punktschweißung

findet heute Anwendung bei Blechen aus Reinaluminium (nach DIN 1712), Al-Legierungen (nach DIN 1713) und Mg-Legierungen (Elektron, Magnewin und Magnedur, nach DIN 1717). Bei Gußlegierungen treten naturgemäß erhebliche Schwierigkeiten auf, ebenso bei dem Verschweißen von Leichtmetallen mit anderen Nichteisenmetallen, und es werden deshalb solche praktisch bis jetzt nicht geschweißt, die obere Grenze der heute schweißbaren Blechstärken liegt bei etwa 3 mm, die untere bei weniger als 0,2 mm. Die hierfür erforderlichen Transformatorenleistungen betragen je nach Wahl der Schweißmaschinen-Armausladung, der Schweißzeit, des Punktabstandes und der Art und Form des Schweißgutes bis zu etwa 300 kVA. Die Spannung auf der Schweißstromseite des Transformators hat bei offenem Stromkreis einen Höchstwert von etwa 8 Volt. Der Schweißstrom beträgt bis zu 40000 Amp. und der Leistungsfaktor im Mittel etwa 0,5.

Die Punktschweißung ist im Prinzip eine Stumpfschweißung von zwei Blechscheiben, deren Durchmesser etwa dem Schweißpunktdurchmesser und deren Einspannlängen den Blechstärken entsprechen. Allerdings besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen den gegebenen physikalischen Verhältnissen und Möglichkeiten der vorher behandelten Stumpfschweißung und der Punktschweißung.

1. Bei letzterem können die Einspannlängen nicht beliebig nach Gesichtspunkten, welche für die Schweißung günstig sind, verändert werden, sondern sie sind festgelegt durch die zu verschweißenden Blechstärken.
2. Können diese bei dem Schweiß- und Stauchprozeß

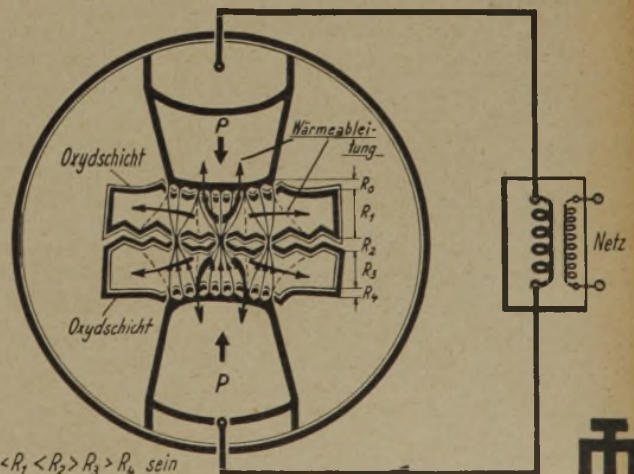
nicht beliebig nachgeschoben werden, wie dies für eine reine Pressschweißung notwendig wäre, sondern die Bleche sollen an der Schweißstelle im allgemeinen möglichst wenig eingedrückt werden.

3. Können die Bleche an der Schweißstelle nicht fest und mit beliebiger Pressfläche eingespannt werden, wie dies u. a. für eine möglichst große und rasche Wärmeabführung wünschenswert wäre, sondern die auf die Bleche wirkende Pressfläche der „Punktelektroden“ ist relativ klein und u. a. durch den gewünschten Schweißpunktdurchmesser begrenzt. Der auf die Pressfläche wirkende Druck ist zugleich der Stauchdruck und kann nicht beliebig gesteigert werden.

4. Ist die Schweißzeit sehr klein und eine Beobachtung des Schweißvorganges, selbst wenn die Schweißstelle einer solchen zugänglich sein sollte, was aber nicht der Fall ist, nicht möglich.

Durch diese Einschränkungen und aus noch anderen Momenten ergeben sich für die Punktschweißung gewisse Schwierigkeiten. Während bei der Stumpfschweißung kleine Streuungen der Stromstärke oder Schweißzeit praktisch keine Veränderung des Schweißgefüges zur Folge hat, da ja bei richtigem Stauchen der überhitzte Werkstoff mit großer Sicherheit aus der Schweißstelle gequetscht wird, also eine Pressschweißung entsteht, ist dies bei der Punktschweißung nicht mehr ganz der Fall. Hierzu kommt noch, daß bei einer zu großen Streuung der Stromstärke oder Schweißzeit nach oben u. U. eine bis an die Blechoberfläche gehende Ausdehnung der das Gefüge verändernden Wärmezone stattfindet, was, besonders bei aushärtbaren Al-Legierungen, nicht erwünscht ist. Bei letzteren ist also eine genaue Dosierung der an der Schweißstelle erzeugten Wärmemenge $Q = I^2 R t$ erforderlich.

Die Beherrschung eines wichtigen Faktors der Dosierung, der Schweißstromzeit, bietet — unter Verwendung von entsprechenden Schaltorganen bis herunter zu $1/1000$ sec — keine Schwierigkeit mehr, ebensowenig die Steuerung der Schweißstromstärke. Schwierigkeiten dagegen bereitet die sehr wünschenswerte Heranziehung der in dem Schweißstromkreis (namentlich in der Schweißstelle und in der Nähe derselben) liegenden und die Schweißstromstärke mitbestimmenden, vielfach veränderlichen Faktoren zur Steuerung desselben. Dazu gehören u. a. die Übergangswiderstände an der Schweißstelle und Nebenschlußströme. Die Regelung des Elektrodendruckes, der neben anderen Faktoren für die Größe des Übergangswiderstandes an der Schweißstelle und damit auch für die an dieser Stelle erzeugte Wärmemenge von Bedeutung ist, bereitet —



Es soll $R_0 < R_1 < R_2 > R_3 > R_4$ sein

Abb. 3: Elektrische Punktschweißung, Stromverlauf

solange es sich um konstanten Druck handelt — auch keine Schwierigkeiten. Nicht ganz so einfach ist dagegen die Steuerung des Druckes, wenn sich dieser während der sehr kleinen Schweißzeit nach einem bestimmten Programm ändern soll (Programmsteuerung). In Abb. 3 ist der Vorgang der Punktschweißung dargestellt. Die zu verschweißenden Bleche werden an den gewünschten Stellen zwischen zwei Punktelektroden gelegt, durch dieselben mit einem bestimmten Druck zusammengepreßt, so daß an der Schweißstelle eine mehr oder weniger gute metallische Berührung entsteht. Hierauf wird auf der Primärseite des Schweißtransformators der Strom eingeschaltet, so daß nunmehr auch auf der Sekundärseite durch die Schweißstelle ein entsprechender Strom fließt. Nach einer bestimmten, relativ kleinen Zeit wird der Strom primärseitig wieder abgeschaltet und nach einem weiteren, kleinen Zeitteil die Punktelektroden voneinander entfernt. Die Schweißung ist beendet. Die Schweißstelle soll einen linsenförmigen Querschnitt haben. Dies ist das Schweißverfahren mit konstantem Druck und konstantem Strom. In letzter Zeit wird aber neben dieser Art, besonders bei wärmeempfindlichen Legierungen, die Punktschweißung auch mit konstantem Strom und veränderlichem Druck, ferner noch mit veränderlichem Strom und veränderlichem Druck durchgeführt (Programmsteuerung).

Für die Ausbildung des Schweißquerschnitts und die Gefügebildung desselben ist der Temperaturverlauf und Druckverlauf an der Schweißstelle maßgebend. Der Temperaturverlauf selbst ist abhängig von der während der Schweißzeit in der Schweißstelle erzeugten und von dieser abgeführten Wärmemenge und dem Verlauf derselben. Die an dieser Stelle erzeugte Wärmemenge ist abhängig von dem Strom, der durch die Schweißstelle fließt (Nebenschlußströme, die durch benachbarte Schweißpunkte fließen, dürfen zu diesen nicht gezählt werden), der Stromflußzeit und den Ohmschen Widerständen längs des Stromweges durch die Schweißstelle. Das sind nach Abb. 3 die Widerstände R_0 bis R_4 , von welchen vor Beginn der Schweißung R_0 , R_2 und R_4 Übergangswiderstände, R_1 und R_3 Leitungswiderstände sind. Der für die Schweißung maßgebende Widerstand R_2 ist der Übergangswiderstand zwischen den zu verschweißenden Blechflächen. Dieser ist u. a. von folgenden Faktoren abhängig:

1. Von der chemischen und physikalischen Oberflächenbeschaffenheit der Bleche — glatte oder rauhe, ebene oder unebene Oberflächen, dünne oder dicke Oxydschicht, Walzhaut, Fettschicht usw.

2. Vom Elektrodendruck.

Der Faktor 1, welcher, neben dem Elektrodendruck, auf die Größe von R_2 den größten Einfluß hat, ist auf der Blechoberfläche nicht überall gleich groß. Diese Ungleichmäßigkeit bereitet der Praxis mitunter gewisse Schwierigkeiten. Durch entsprechende Vorbereitung der Blechoberflächen (beizen, schleifen) sucht man diesen Nachteil zu beseitigen.

Der Faktor 2 ist natürlich von größter Bedeutung für die Größe von R_2 . Es gilt, daß mit größer werdendem Elektrodendruck der Übergangswiderstand R_2 abnimmt, allerdings nur bis zu einem gewissen Grenzwert. Neben diesen beiden wichtigen Faktoren haben auf die Größe von R_2 noch die mechanische Festigkeit der Bleche, die Blechstärke und die Preßflächen der Elektroden einen gewissen Einfluß.

Während der Schweißung verschwindet innerhalb der Druckzone der Übergangswiderstand R_2 . An seine Stelle tritt ein Leitungswiderstand, der sich in der erkalteten Schweißstelle kaum von dem an einer andern Stelle im Werkstoff gemessenen unterscheidet.

Die Übergangswiderstände R_0 und R_4 sind in erster

Linie, genau wie bei F
heit der Bleche und der Größe der Elektrodenpreßflächen und von dem Elektrodendruck abhängig. Sie sollen so klein wie möglich sein, damit an diesen Stellen keine übermäßigen Erwärmungen auftreten. Bei zu hoher Temperatur wird an diesen Stellen das Gefüge der Blechoberfläche verändert, und es findet ein Anlegieren des Blechwerkstoffes an die Kupferelektroden statt. Die Bleche kleben und müssen von den Elektroden abgedrückt werden. Die Preßflächen der Elektroden werden unsauber. Bei dem nachfolgenden Schweißpunkt ist der Übergangswiderstand noch größer geworden. Die Folge davon ist eine weitere Steigerung der Wärmemenge und damit auch der Temperatur. Durch solches gegenseitiges Hochpendeln von Widerstand und Wärme wird eine einwandfreie Schweißung unmöglich. Ein zu geringer Elektrodendruck hat ähnliche Folgen. Es ist also unbedingt auf Sauberhaltung der Elektroden und auf eine gute Kühlung derselben zu achten; letzteres auch noch aus anderen Gründen. In der Praxis erfolgt die Säuberung meistens von Hand mittels Schmirgelholzes oder einem ähnlichen Werkzeug. Dieses Verfahren ist allerdings zeitraubend und ungenau. Die Berührungspunkte zwischen den Elektroden und dem Blech sollen in der Mittellinie der Elektroden liegen. Ist dies nicht der Fall, so erhält man z. T. unsaubere Schweißpunkte. Ein mechanisch angetriebenes, entsprechend durchgebildetes Schmirgel- oder Fräswerkzeug, das zweckmäßig an einer Elektrode befestigt ist, dürfte die Reinigungszeit verringern, und zur Elektrodennittellinie zentrische Preßflächen ergeben. Der Kupferstaub, der sich bei der Reinigung ergibt, muß sorgfältig entfernt werden. Legt man Wert auf saubere Schweißpunktflächen, so wird man nach etwa 20 Punkten die Elektroden reinigen müssen. Reines Kupfer als Elektrodenwerkstoff hat sich in der Praxis bis jetzt am besten bewährt.

Die Widerstände R_1 und R_3 sind durch die Blechstärken und den für den Schweißstrom wirksamen Querschnitt bestimmt. Da sie, besonders bei dünnen Blechen, sehr klein sind, so haben sie keinen allzugroßen Einfluß auf den Temperaturverlauf in der Schweißstelle.

Die von der Schweißstelle abgeführte Wärmemenge entsteht durch Wärmeableitung nach den Elektroden und nach den der Schweißstelle benachbarten Werkstoffzonen. Der größte Teil muß, besonders bei dünnen Blechen, durch die Elektroden abgeführt werden. Auch aus diesem Grunde sollen dieselben gut gekühlt und der Elektrodendruck nicht zu klein gewählt werden.

Bei dem Zusammenpressen der Bleche durch die Elektroden wird bei einem genügend hohen Druck innerhalb der Druckzone, besonders an der Mittellinie derselben, die Oberflächenschicht der Bleche (Oxydschicht usw.) an mehreren Stellen (Schweißstelle) durchbrochen und an denselben eine leitende Verbindung hergestellt. Der nunmehr eingeschaltete Schweißstrom wird an diesen Übergangspunkten sehr stark zusammengedrängt und, je nach der Stromdichte an diesen Punkten, eine entsprechende Wärmemenge erzeugt, was wiederum eine entsprechende Temperatursteigerung dieser Stellen zur Folge hat. Nach Abb. 3 ist also die Temperatursteigerung in der Mitte der Schweißstelle am größten. Der Werkstoff wird an dieser Stelle schon nach kurzer Stromflußzeit — meist schon innerhalb der Zeit einer Stromperiode $= \frac{1}{50}$ sec — sogar flüssig werden, während die benachbarten Stellen eine niedrigere Temperatur aufweisen. Der Schweißwerkstoff dehnt sich, die Oxydschicht wird dadurch noch an weiteren Punkten zerrissen, für den Schweißstrom werden neue Übergangswegen gebildet, und auch diese werden nun erwärmt, allerdings nicht mehr in dem Maße wie in

der Mitte, da die Stromdichte wesentlich geringer geworden ist. Während der Wärmeerzeugung findet natürlich auch die schon vorher erwähnte Wärmeableitung statt. In der Mitte des Schweißpunktes ist die Temperatur am höchsten und fällt nach außen hin ab. Unter dem Einfluß des Elektrodendruckes wird aus dem z. T. flüssigen und z. T. teigigen Werkstoff die Oxydhaut mit dem Eutektikum an die Randzonen der erhitzten Schweißstelle hinausgedrückt.

Nach etwa 5 bis 10 Perioden ($\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{5}$ sec) wird der Schweißstrom abgeschaltet und die Schweißung vollendet. Über den metallurgischen Zustand des Schweißpunktes ist in der Literatur schon mehrfach berichtet worden. Die durch den Schrumpfprozeß und durch frei werdende Gase sich bildenden Lunken und Gaseinschlüsse, die besonders bei dickeren Blechen nicht ganz zu vermeiden sind, sollen, falls sie in der Mitte des Schweißpunktes sind, keinen großen Einfluß auf die statische und dynamische Festigkeit desselben haben. Sobald der Werkstoff an der Schweißstelle hocherhitzt ist, verschwindet der Übergangswiderstand an dieser Stelle, der für die Erwärmung maßgebend war, und es hat wenig Zweck, bei gleichem Strom durch Vergrößerung der Schweißzeit eine wesentliche Vergrößerung des Schweißpunktes und damit auch eine größere Bruchlast zu erreichen zu suchen. Für mittlere Blechstärken liegt die günstigste Schweißzeit bei etwa 8 Perioden und wird naturgemäß mit geringer werdender Blechstärke kleiner (bis herunter zu $\frac{1}{2}$ Periode). Durch zu große Schweißzeit wird dagegen die Glühzone erweitert, was besonders bei aushärtbaren Legierungen nachteilig ist.

Es ist klar, daß die Stromstärke einen großen Einfluß auf die Schweißpunktgröße und Bruchlast hat, da diese bei Beginn der Schweißung, solange also noch der Übergangswiderstand R_2 vorhanden ist, neben diesem für die erzeugte Wärmemenge, und damit auch für den sich bildenden Schweißquerschnitt maßgebend ist. Je größer der Strom, um so größer dieser Querschnitt. Er wird begrenzt durch die Größe der Preßflächen der Elektroden. Soll der Querschnitt noch größer werden, so muß die Preßfläche entsprechend vergrößert werden. Mit größer werdendem Strom dringt aber auch die das Gefüge verändernde Wärmezone immer mehr nach der Blechoberfläche. Verminderung der Festigkeit und bei Legierungen außerdem noch eine Verminderung der Korrosionsbeständigkeit sind die Folgen. Die schädlichen Folgen, welche bei Al-Legierungen eine zu große Streuung vorher genannter Wärmezone nach oben mit sich bringt (Korrosion), braucht man nicht zu befürchten, wenn man beispielsweise Al-plattierte Bleche verwendet. Diese finden heute in der Praxis schon in großem Umfang Verwendung.

Für den Elektrodendruck gilt bis zu einem gewissen Grenzwert, daß mit kleiner werdendem Druck der Übergangswiderstand von R_2 zunimmt, dadurch die erzeugte Wärmemenge und damit auch die Schweißpunktgröße und dessen Bruchlast zunimmt. Dieser Druck soll aber nicht zu klein sein, da R_2 bei kleinem Druck sehr stark streut, was für eine gleichmäßige Schweißung nachteilig ist, die Wärmeableitung nach den Elektroden schlechter wird und die Übergangswiderstände R_0 und R_4 zu große Werte annehmen. Untersuchungen haben gezeigt, daß verschiedene Formen der Elektrodenpreßflächen, sofern diese nicht sehr stark voneinander abweichen, keinen allzu großen Einfluß auf die Bruchlast des Schweißpunktes haben. In der amerikanischen Literatur wird empfohlen, daß diese Preßflächen einen Winkel von etwa 165° einschließen sollen.

Über den Einfluß der Schweißzeit, Stromstärke, Elektrodendruck, Elektrodenform und Blechfestigkeit zur

statischen und dynamischen Belastung sind in der Literatur bereits Zahlenwerte veröffentlicht. Bei der Verschweißung von ungleichen Blechstärken verschiebt sich die Schweißlinse nach dem dickeren Blech, und bei ungleichem Werkstoff nach dem mit dem tieferen Schmelzpunkt (Abb. 5). Erwünscht ist allerdings eine symmetrische Lage der Punkte.

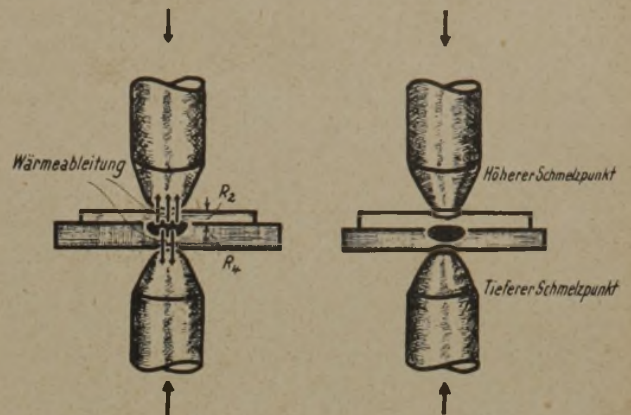


Abb. 4: Elektrische Punktschweißung, Unsymmetrie der Schweißlinse

Wird eine Punktreihe geschweißt, so sind die Nebenschlußströme zu beachten, deren Größe u. a. von den Punktabständen a abhängen. Je kleiner diese Abstände sind, um so größer werden dieselben. Dadurch wird aber der Strom, welcher durch den zu schweißenden Punkt fließen soll, kleiner und dadurch auch der Querschnitt dieses Punktes. Es werden die benachbarten Punkte durch die Nebenschlußströme nacherwärmt, was, wenn diese Wärmemengen nicht genügend rasch abgeführt, meistens schädlich ist, bei richtig geführter Ableitung dieser Wärmemenge aber zum Vergüten benutzt werden können (also bei entsprechender Wahl von a). Schweißpunktgröße und Gütewerte der vom Nebenschlußstrom durchflossenen Punkte stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander. (Diese Betrachtung gilt besonders für die Nahtschweißung.) Es gilt also: Je größer der Punktabstand, um so kleiner der Nebenschlußstrom, um so größer der Schweißstrom und um so größer der Querschnitt desselben. In manchen Fällen bringen 2 Punktreihen mit großem Punktabstand gewisse Vorteile gegenüber einer Punktreihe mit kleinem Punktabstand (Abb. 5). Wie weit die Buckelblechschweißung, die für Eisen-schweißung bei Massenfabrikation erhebliche Vorteile bringt, für Leichtmetalle anwendbar ist, muß noch untersucht werden.

Wesentlich für die Punktschweißung ist die Stromsteuerung. Man unterscheidet zwischen mechanischer, elektrischer und einer Kombination von elektrischer und mechanischer Steuerung.

Bei der mechanischen Steuerung wird der Schweißstrom durch den Fußkontakt, durch den zugleich in den mei-

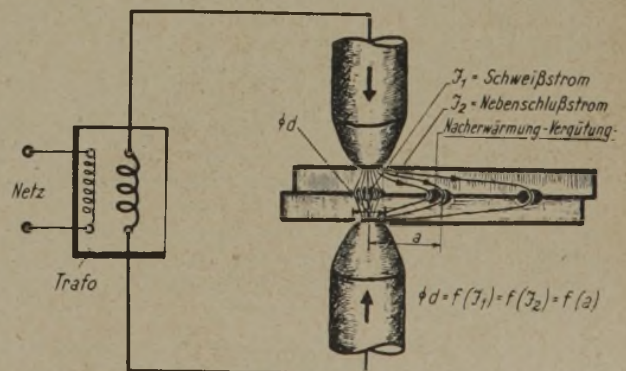


Abb. 5: Elektrische Punktschweißung, Nebenschlußstrom

sten Fällen auch die Elektroden bewegt werden, eingeschaltet (meistens über ein Schütz) und willkürlich, durch Freigabe des Fußkontaktes wieder abgeschaltet, oder es erfolgt die Abschaltung durch ein mechanisches Zeitrelais, welches für bestimmte Schweißzeiten eingestellt werden kann. Ersteres kommt für Leichtmetalle kaum in Frage, während letzteres in der Praxis häufig zu finden ist. Die untere einstellbare Schweißzeit ist bedingt durch die Eigenzeit des Schaltschützes und der mechanischen Steuereinrichtung und liegt im Mittel innerhalb der Zeit von 4 Perioden. Die Streuung dieser Einrichtungen ist relativ groß. Strom-Spannungs- oder Differentialrelais, wie sie bei der Eisen-schweißung üblich sind, werden bei Leichtmetallen wegen der großen Streuung kaum angewandt. Eine Einschaltung in einem bestimmten Zeitpunkt — etwa bei dem Stromdurchgang durch den Nullpunkt, wie dies für die Schweißung und zur Schonung der Schaltkontakte wünschenswert wäre — ist bei den vorher erwähnten Verfahren nicht möglich. Eine Verbesserung bringt hier der synchronisierte Schalter. Statt der rein mechanischen Zeitrelais werden vielfach auch elektrische Zeitrelais verwendet, sogenannte Schweißzeitbegrenzer.

Der Vorgang ist folgender: Durch den Fußkontakt 1 werden die zu verschweißenden Bleche durch die Elektroden zusammengepreßt. Hierauf wird durch den Kontakt links oben in Abb. 6 der Stromkreis 3 ge-

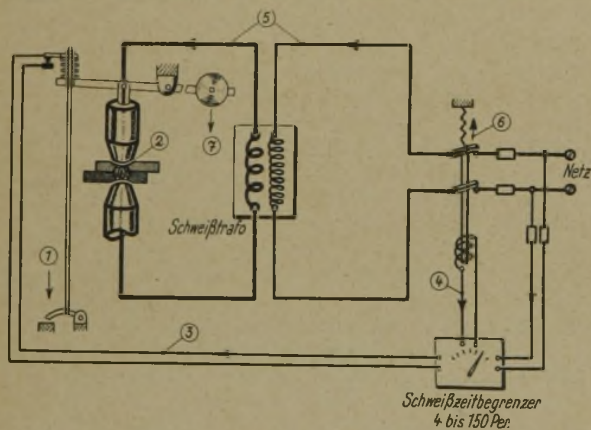


Abb. 6: Elektrische Punktschweißung, Schweißstromsteuerung

schlossen, welcher über den Schweißzeitbegrenzer den Schaltschützstromkreis 4 eine bestimmte Zeit (eingestellte Zeit) schließt und damit auch den Schweißstromkreis 5. Diese Relais haben sich gut bewährt, da sie mit sehr kleiner Streuung arbeiten. Aber auch hier ist ein Schalten zu einem beliebigen Zeitpunkt nicht möglich.

Durch Verwendung von gittergesteuerten Gleichrichtern, welche in dem Primärstromkreis des Trafos liegen, werden alle Schaltschwierigkeiten beseitigt. Man kann damit den Schweißstrom in jedem beliebigen Zeitpunkt trägheitslos ein- und ausschalten, durch besondere Zusatzeinrichtungen kann man die für die Erwärmung wirksame Stromstärke beliebig regulieren und die Schweißzeiten bis zu $\frac{1}{1000}$ sec einwandfrei beherrschen. Streuungen sind praktisch ausgeschlossen. Liegt nur eine Gleichrichterröhre in dem Primärkreis des Trafos, so kann dieser nur bis zu $\frac{1}{2}$ Periode = $\frac{1}{100}$ sec angesteuert werden, liegen dagegen in dem Primärkreis zwei gegeneinander geschaltete Röhren, so können beliebige Schweißzeiten eingestellt werden.

In Abb. 7 ist eine solche Steuereinrichtung dargestellt. Durch den Fußkontakt wird der Stromkreis 1 geschlossen. Durch diesen in dem Steuergerät der Stromkreis 2.

Dadurch wird der Druckzylinder der Schweißmaschine belüftet und die Punktelektrode auf die Schweißstelle gepreßt. Nach Erreichung eines bestimmten, eingestellten Druckes wird durch den Druckmanometerkontakt der Stromkreis 3 geschlossen, und durch diesen wird nach einem bestimmten Zeitpunkt (das ist der gewünschte Einsatzpunkt in der „Primärstromkreislinie“) über den Stromkreis 4 das Gitter der zu diesem Stromkreis gehörenden Röhre sehr rasch mit positiver Spannung aufgeladen (Zündimpuls). Die Röhre zündet, und

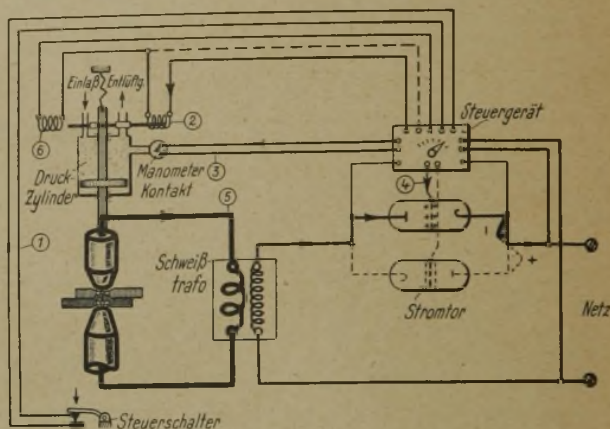


Abb. 7: Elektrische Punktschweißung, Gittersteuerung

es fließt der eine Wechsel des Primärstromes von dem gewünschten Einsatzpunkt in der Sinuslinie desselben bis zu seinem Durchgang durch den Nullpunkt in derselben durch das Rohr und wird dann unterbrochen. Während dieser Zeit war die zweite Röhre durch eine negative Gittervorspannung gesperrt. Nach dem Richtungswechsel des Primärstromes geht dieser durch die zweite Röhre und wird in dieser auf dieselbe Art, wie vorher beschrieben, gesteuert. Dieses Spiel kann beliebig wiederholt und bei jedem Stromdurchgang durch den Nullpunkt sowohl in der einen als auch anderen Röhre ganz unterbrochen werden. Durch die Primärseite des Schweißtrafos wird ein zerhackter Wechselstrom geschickt. Diesem entspricht der Schweißstrom 5 auf der Sekundärseite. Für die Erwärmung an der Schweißstelle kommt der Mittelwert dieser Stromimpulse in Frage. Durch Veränderung der Einsatzpunkte des Stromes kann man also diesen Mittelwert beliebig verändern. Nach erfolgter Schweißung wird der Stromkreis 6 geschlossen und der Zylinder entlüftet. Diese Steuerung wird mit Quecksilber- und mit Glühkathodenröhren durchgeführt.

Bei der Programmsteuerung werden die Bleche mit einem relativ hohen Elektrodendruck P_1 zusammengepreßt. Dadurch wird die Oxydschicht und Walzhaut innerhalb der Druckzone an mehreren Stellen, besonders in der Nähe der Elektrodenmittellinie, durchbrochen und an diesen Stellen eine metallische Berührung hergestellt. Zugleich wird durch diesen hohen Druck eine Kaltverformung hervorgerufen, welche für die nachfolgende gewünschte Verbindung durch Rekristallisation günstig sein soll. Danach wird dieser Druck auf den Druck P_2 vermindert und während dieser Druckverminderung der Schweißstrom I_1 eingeschaltet. Infolge des verminderten Elektrodendruckes wird an der Schweißstelle der Übergangswiderstand R_2 (Abb. 3) größer und durch den Schweißstrom I_1 an dieser Stelle eine entsprechend große Wärmemenge erzeugt. Die Schweißung wird bei dem Druck P_2 und Strom I_1 in der vorher geschilderten Weise sich vollziehen. Danach wird der Strom I_1 auf den Wert I_2 verringert und der Druck P_2 auf P_3 erhöht. Durch diese Maßnahme soll u. a. eine Durchschmiedung und Verfestigung der Schwei-

fung hervorgerufen werden. Nach einer weiteren Zeit wird der Strom I_2 abgeschaltet und der Druck P_3 aufgehoben. Dieser Vorgang ist in Abb. 8 dargestellt. Ebenso der Verlauf des Stromes und der dadurch hervorgerufenen Wärmeimpulse. Ein abschließendes Urteil über diese Art der Steuerung gegenüber der Steuerung mit konstantem Druck und Strom kann noch nicht abgegeben werden.

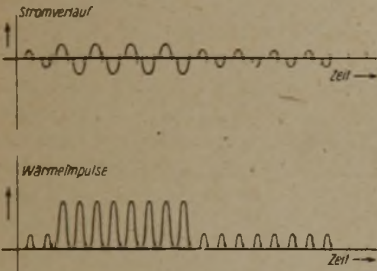
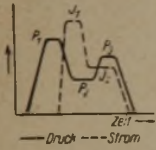


Abb. 8: Elektrische Punktschweißung, Programmsteuerung

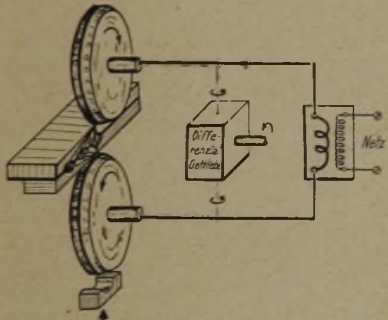


Abb. 9: Elektrische Nahtschweißung

vor Beginn der Schweißung beseitigt werden. Nach erfolgter Schweißung muß darauf geachtet werden, daß die Schweißstelle an ihrer Oberfläche mit einem entsprechenden Schutz (Lacküberzug) wieder versehen wird. Auf die Sauberhaltung der Punktschweißelektroden ist bei der Verschweißung von diesem Metall noch mehr zu achten als bei Aluminiumlegierungen.

Die Nahtschweißung

(Abb. 9), die im Prinzip auch nichts anderes ist als eine Punktschweißung, wird in der Weise durchgeführt, daß die zu verschweißenden Bleche an der gewünschten Stelle zwischen die Rollenelektroden gelegt, die Bleche mit einem bestimmten Druck zusammengepreßt und die Rollenelektroden kontinuierlich oder ruckweise gedreht werden. Die zu verschweißenden Bleche werden zwischen den Rollenelektroden mit dem Umfangsgeschwindigkeit derselben fortbewegt. Während dieser Bewegung werden über die Rollenelektroden durch die Berührungsflächen (Übergangswiderstand R_2 , Abb. 3) genau dosierte Energiemengen $I^2 \times R \times t$ geschickt. Auf diese Art und Weise wird ein Punkt neben dem anderen geschweißt, also eine Punktreihe oder Naht. Der Punktabstand kann willkürlich durch entsprechende Änderung der Umfangsgeschwindigkeit der Rollenelektroden verändert werden. Er kann so klein gewählt werden, daß die Schweißpunkte sich überlappen, also längs dieser Punktreihe überhaupt kein unverschweißter Werkstoff mehr vorhanden ist. Bei dem meistens sehr kleinen Punktabstand sind hier die Nebenschlußströme noch mehr als bei der Punkt-

schweißung zu berücksichtigen. Welche Folgen diese haben und welche Beziehungen zwischen Punktgröße und Gütewerte der benachbarten Punkte bestehen, ist vorher schon erläutert worden. Mitunter ist es zweckmäßig, die Wärmeableitung aus den von den Nebenschlußströmen durchflossenen Punkten durch eine zusätzliche Kühlung mittels Preßluft usw. zu beschleunigen, um dadurch den Effekt einer Vergütung zu steigern. Auch hier sind in der Literatur Zahlenwerte über die Beziehungen zwischen Schweißgeschwindigkeit, Punktdurchmesser und Gütewerte derselben veröffentlicht. Es ist zweckmäßig, daß nicht nur die obere Elektrode angetrieben wird, wie das bei der Eisenschweißung vielfach der Fall ist, sondern die beiden Rollenelektroden über ein Differential getrieben in Bewegung gesetzt werden. Dadurch wird ein für die Schweißung schädliches Gleiten der Bleche verhindert.

Bei der Nahtschweißung ist noch mehr als bei der Punktschweißung auf eine gleichmäßige und saubere Oberflächenbeschaffenheit der Bleche zu legen. Ebenso ist auf eine Sauberhaltung der Rollenelektroden zu achten. Die obere Grenze der schweißbaren Blechstärken liegt bei der Nahtschweißung unter der für die Punktschweißung (etwa bei 2 mm Einzelblechstärke). Die für die Verschweißung einer bestimmten Blechstärke erforderliche elektrische Leistung ist, besonders bei kleinem Punktabstand, größer als bei der Punktschweißung und beträgt bei vorher genannter Blechstärke etwa 400 KVA; der maximale Schweißstrom etwa 60 000 Amp. und der Leistungsfaktor etwa 0,45. Die Größe der Armausladung bei Punkt- und Nahtschweißmaschinen hat für die zwischen den Elektroden abgegebene Schweißleistung großen Einfluß (Abb. 10). Für den Fall, daß der Widerstand zwischen den Elektroden gleich Null wäre, würde die an dieser Stelle abgegebene Leistung mit dem Quadrat der Entfernung diese Stelle von den Anschlußklemmen der Sekundärwicklung des Schweißtransformators abnehmen. Die an der Schweißstelle abgegebene Leistung hängt u. a. auch von der Länge und Größe des zu schweißenden Werkstückes, welches zwischen die Arme hineinragt, ab. Sie wird dadurch u. U. wesentlich verringert. Ebenso wird mit größer werdender Armausladung der Leistungsfaktor geringer. (Auf dem Diagramm sind nicht die wirklichen Werte der Widerstände eingetragen.) Ist der Übergangswiderstand R_2 an der Schweißstelle relativ groß gegenüber den Leitungswiderständen R_1 und R_3 (Abb. 3), so wird sich während der Schweißung vermutlich der Leistungsfaktor noch etwas verschlechtern, da der Widerstand R_2 verschwindet. Vorher erwähnte Momente werden in manchen Fällen beim Kauf solcher Maschinen nicht immer berücksichtigt. Die Abhängigkeit der zwischen den Elektroden abgegebenen Leistung von der Armausladung und die für die Schweißung von Leichtmetallen erforder-

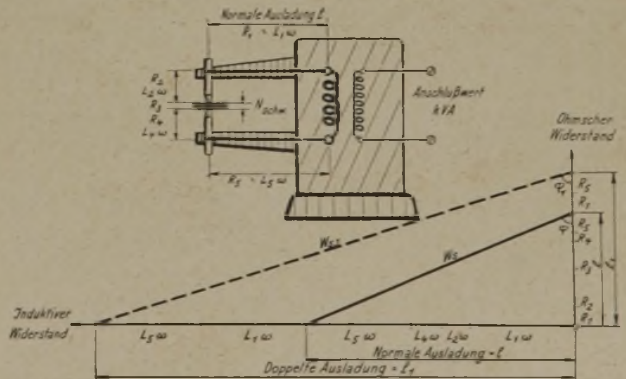


Abb. 10: Elektrische Punktschweißung, Schweißleistung $N_{schw.} = f$ (Armausladung)

derliche hohe Leistung ist auch die Ursache, weshalb die sonst bei der Eisenschweißung verwendeten Punktschweißzangen hier Schwierigkeiten bereiten.

Die Nahtschweißmaschinen und besonders die Punktschweißmaschinen stellen für die Stromlieferungsquellen mitunter unangenehme Abnehmer dar. Bei den hohen Anschlußwerten der Schweißmaschinen für Leichtmetalle tritt dieses noch mehr in Erscheinung. Die für den Anschluß solcher Maschinen erforderlichen Leistungsquerschnitte und Maschinenleistung der Stromquelle (die dauernd zur Verfügung stehen muß) werden schlecht ausgenutzt, weil in den meisten Fällen deren Schweißzeit sehr klein ist gegenüber deren Leerlaufzeit. Die Kosten der Bereitstellung dieser sind meist sehr hoch. Sind nun mehrere Schweißmaschinen

in Betrieb, so kann, wenn keine besonderen Maßnahmen vorgesehen sind, der ungünstige Fall auftreten, daß durch die Schweißer alle Maschinen zu gleicher Zeit betätigt werden. Auch für diesen Fall soll die entsprechende Maschinenleistung der Stromquelle noch zur Verfügung stehen und keine Spannungsabsenkung entstehen, die für die Schweißung nachteilig wäre. Besonders kritisch

ist dieses der Fall, wenn diese Maschinen nur über ein Einphasensystem gespeist werden. Er-

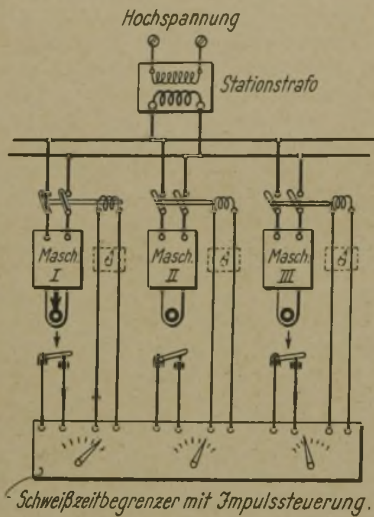


Abb. 11: Elektrische Punktschweißung, Stromsteuerung mehrerer Maschinen

folgt die Versorgung derselben über ein Drehstromnetz (wie das häufig der Fall ist), so bringt eine entsprechende Verteilung der Maschinen an die drei Phasen — was eigentlich selbstverständlich ist — eine gewisse Milderung. Aber auch hier kann beim Anschluß von mehr als drei Schweißmaschinen der vorher genannte Fall eintreten. Um bei dem Anschluß von mehreren Punktschweißmaschinen den Anschlußwert des „Hochspannungstransformators“, der für die Stromversorgung von mehreren Maschinen meist erforderlich ist und die erforderlichen Leitungsquerschnitte und die Kosten derselben auf ein Minimum zu bringen, ist es zweckmäßig, die Schweißmaschinen über ein Impulssteuergerät mit Strom zu versorgen (Abb. 11). Dadurch erreicht man selbst bei gleichzeitiger Betätigung aller Maschinen, daß nur eine Maschine, und zwar die zuerst betätigte, mit dem entsprechend eingestellten Stromimpuls versorgt wird. Bei der sehr geringen Schweißzeit und der verhältnismäßig großen Transportzeit, die von einem Punkt zum anderen erforderlich ist, ist wohl kaum eine wesentliche gegenseitige Behinderung der einzelnen Schweißmaschinen zu erwarten. Durch entsprechend angeordnete Signallampen an den einzelnen Schweißmaschinen kann eine evtl. trotzdem auftretende gegenseitige Behinderung verringert werden.

Nach Abb. 11 ist zuerst die Maschine 1 und unmittelbar hinterher die Maschine 3 durch Fußkontakt betätigt worden. Der Strom für Maschine 3 bleibt für die Zeit, in welcher die Schweißung der Maschine 1 durchgeführt wird, gesperrt, wird aber unmittelbar nach Beendigung dieser freigegeben. Selbstverständlich ist auch während dieser Zeit der Strom für Maschine 2 gesperrt.

Aus Vorhergesagtem erkennt man also, wie wichtig es ist, bei dem Widerstandsschweißverfahren sich etwas näher mit den physikalischen und chemischen Vorgängen bei der Schweißung zu befassen, um auf wirtschaftlichstem Wege die bestmögliche Schweißung zu erzielen.

Die autogene Schienenstoß- und Schienenreparaturschweißung^{*)}

Von Oberingenieur H. Frankenbusch, Frankfurt a. M.

Die durch den Verschleiß des Schienenmaterials entstehenden Verluste waren von jeher recht erheblich. Man hat sich bemüht, durch Maßnahmen konstruktiver und metallurgischer Art die Lebensdauer der so hoch beanspruchten Gleisteile zu verlängern. Durch Änderung der chemischen Zusammensetzung wurde die Streckgrenze, die Festigkeit und die Verschleißfestigkeit der verwendeten Schienenstähle erhöht. Es wurden Verbundstahlschienen hergestellt, bei denen der Kopf aus härterem, der Steg und Fuß aus weicherem Werkstoff besteht. Bei Einstoffschienen wurde die Härte an der Lauffläche durch entsprechende Wärmebehandlung gesteigert.

Alle diese Maßnahmen haben nicht vermocht, den Verschleiß auf ein erträgliches Maß herabzusetzen, denn Hand in Hand mit der Verbesserung der Schienen ging die Erhöhung der Lasten und damit die Erhöhung der Raddrücke. Außerdem wurde inzwischen die Geschwindigkeit erheblich gesteigert.

Im Rahmen des Vierjahresplanes hat die Frage nach der wirtschaftlichen Instandsetzung der durch den

Verschleiß unbrauchbar gewordenen Gleisteile erneut hohe Bedeutung erlangt. Mit Hilfe der Autogenschweißung ist es gelungen, die noch vor einigen Jahren schwebenden Fragen einwandfrei zu lösen.

Abb. 1 zeigt den Querschnitt einer Einstoffschiene, die ganz aus dem gleichen Material hoher



Abb. 1: Schienenmaterial mit erhöhter Härte, zur Erhöhung der Beständigkeit gegen Verschleiß

^{*)} Abb. des Verfassers.

Festigkeit besteht, mit einer durchgehenden Brinellhärte von 250 bis 260 kg/mm², einer Verbundstahlschiene, deren Fuß und Steg aus einem weichen Material mit einer Brinellhärte von 149 bis 163 kg/mm² und deren Lauffläche aus einem wesentlich härteren Material mit einer Brinellhärte von 277 bis 285 kg/mm² besteht. Die Verbundstahlrillenschiene hat ebenfalls im Fuß und Steg ein weiches Material mit einer Härte von 121 bis 131 Brinell und im Kopf und in der Leitschiene ein wesentlich härteres Material mit einer Härte von 285 bis 321 Brinell. Bei der folgenden Vignol-Verbundstahlschiene haben wiederum Fuß und Steg eine Härte von 126 bis 143 Brinell und der Kopf eine solche von 241 bis 285. — Bei der weichen Einstoffschiene mit einer Härte von 163 bis 170 Brinell wurde durch Härten an der Lauffläche eine Gefügeveränderung und damit eine Erhöhung des Verschleißwiderstandes herbeigeführt und die Härte auf 560 Brinell erhöht.

Das ferritisch-perlitische Gefüge der weichen Einstoffschiene von etwa 72 kg/mm² Festigkeit ist an den verschiedenen Stellen ungefähr gleich, während das der Verbundstahlrillenschiene aus einem ferritisch-perlitischen Gefüge mit geringem Kohlenstoffgehalt und das des Kopfes aus feinlamellarem Perlit, einem Chromstahl, mit hohem Kohlenstoffgehalt besteht.

In Abb. 2 besteht das Gefüge der naturharten Schiene von 90 kg/mm² Festigkeit aus nahezu reinem Perlit. Die Schiene besitzt ihre hohe Festigkeit durch den hohen Kohlenstoff- und den erhöhten Mangan-gehalt. Der Fuß und der Steg der Verbundstahlschiene zeigen wieder das kohlenstoffarme ferritisch-perlitische Gefüge, während das Gefüge im Kopf aus sehr fein lamellarem Perlit besteht.

Der Kopf der Verbundstahlschiene enthält neben einem hohen Kohlenstoffgehalt auch noch Chrom.

Den Unterschied des Gefüges zwischen dem harten Teil des Kopfes einer Verbundstahlschiene und einer

weicheren Einstoffschiene zeigt Abb. 3. Während das Gefüge des Kopfes der Verbundstahlschiene aus feinlamellarem Perlit besteht, wurde das ferritisch-perlitische Gefüge der Einstoffschiene durch eine Wärmebehandlung und Abschrecken in Wasser in Martensit umgewandelt. Hierdurch entstand die hohe Brinellhärte von 560 kg/mm².

Die chemische Zusammensetzung beider Schienen im Fuß, Steg und in dem unteren Kopfteil ist ungefähr die gleiche.

Zusatzmaterial für die Auftragschweißung

Für das Gelingen einer guten haltbaren Auftragschweißung an Schienen ist die Verwendung eines geeigneten Schweißdrahtes Voraussetzung. Nicht allein der Gleichmäßigkeit der Härte, dem Verschleißwiderstand, der Zähigkeit und der Warmverformungsfähigkeit, sondern auch ganz besonders der Verhinderung einer eventuellen möglichen Rißbildung in der Schweißnaht, vor allem beim Schweißen bei niedrigen Temperaturen im Winter mußte bei der Entwicklung der Zusatzdrähte die erforderliche Beachtung geschenkt werden.

Sehr häufig sind Horizontal- und auch Vertikalschweißungen von größerer Dicke auszuführen. Es sind deshalb solche Schweißdrähte zu bevorzugen, die einen schlackenarmen klaren Fluß im Schmelzbad ergeben. Das Schmelzbad soll eine gewisse Zähigkeit besitzen, damit es dem Schweißer möglich ist, sofort bei der Auftragung die Gestalt der Schweißnaht dem erforderlichen Aufbau anzupassen. Das Bad kann nicht so leicht über- oder vorlaufen, die so gefürchteten Kaltschweißstellen, die zu Abquetschungen und Ausbröckelungen führen, werden dadurch mit großer Sicherheit vermieden. Der zähe Fluß hat ferner den Vorteil, daß sich das Zusatzmaterial auch leicht seitlich auftragen läßt, was bei dünnflüssigen Drähten immer größere Schwierigkeiten bereitet.

In umfangreichen Betriebsschweißungen, die in Gleisen mit verschiedener Steigung, in Kurven mit verschiedenen Radien, die von langsam und schnell fahrenden Zügen sowie von Fahrzeugen mit hohen Raddrücken befahren wurden, ist festgestellt worden, daß die heute vorhandenen Schienenschweißdrähte allen an sie gestellten Anforderungen gerecht werden. Die Schweißungen wurden auch in verschiedenen Jahreszeiten, die sich in den Temperaturen stark voneinander unterscheiden, durchgeführt. Es wurde im Sommer an besonders heißen, im Winter an besonders kalten Tagen, bei einer Temperatur von — 20 Grad, bei Regen und Schneefall geschweißt, ohne daß sich bisher Anstände gezeigt hätten. Für Schienenmaterial von hoher und niedriger Härte sind selbstverständlich verschiedene Drähte vorhanden.

Vergleicht man in Abb. 4 das Gefüge des Schweißdrahtes mit dem Gefüge der aufgetragenen Schweißnaht und dem Gefüge der ungeschweißten Schiene, so kann man eine weitgehende Übereinstimmung feststellen.

Der Vergleich liefert einen Beweis dafür, daß es mit einer entsprechend zusammengesetzten Stahllegierung möglich ist, auch bei neutraler Flamme einen zu hohen Abbrand derjenigen Legierungsbestandteile zu vermeiden, die das Gefüge beeinflussen und deren Erhaltung für die Erzielung einer gleichmäßigen Härte erforderlich ist.

Durch das Hämmern der aufgetragenen Schweißnaht in Rotglut und die Wiedererwärmung mit anschließender langsamer und gleichmäßiger Abkühlung entsteht in der Schweißnaht ein gleichmäßiges feinkörniges Gefüge, das sich praktisch nicht von dem Gefüge des ungeschweißten Werkstoffs unterscheidet.

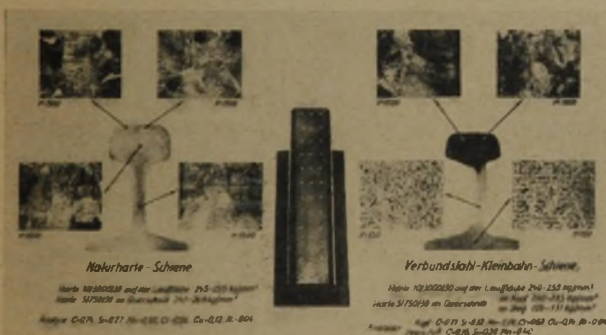


Abb. 2: Gefüge und Härte von Schienenmaterial

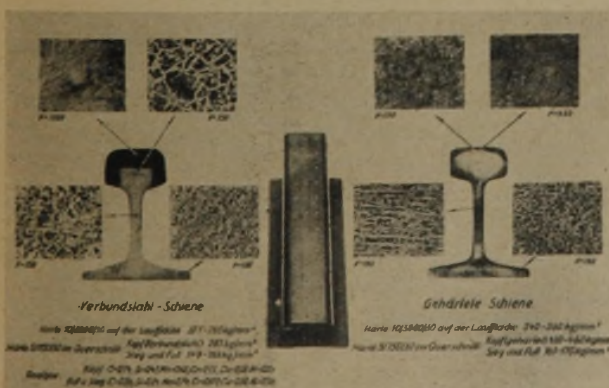


Abb. 3: Gefüge und Härte von Schienenmaterial

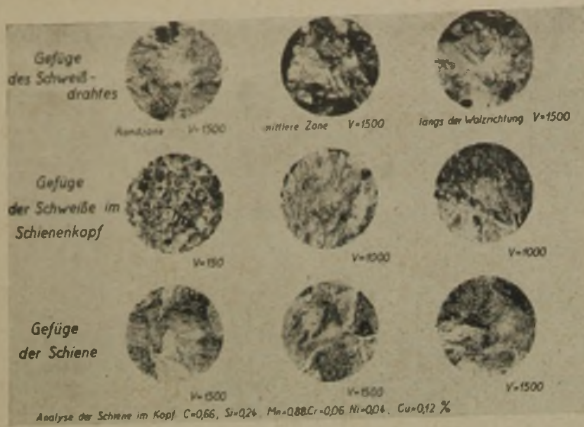


Abb. 4: Anwendung der Autogenschweißung bei Schienenmaterial



Abb. 5: Anwendung der Autogenschweißung bei Schienenmaterial

Auch bei dem aufgeschweißten Schienenende in Abb. 5 wird eine weitgehende Übereinstimmung der Schweißung mit dem Schienenwerkstoff festgestellt.

Da nun alle in Deutschland verwendeten Schienen, mit Ausnahme der gehärteten, ganz gleich, ob sie eine Ursprungsfestigkeit von 60, 70, 80, 90 oder gar 100 kg/mm² haben, im kaltverfestigten Zustande an der Lauffläche eine Härte von rund 300 Brinell haben, kommt man auch in fast allen Fällen mit einem einzigen Auftragsweißdraht, dem GA3, nach DIN „GA 250“, aus. Dieser Draht ergibt im aufgeschweißten Zustande eine Härte von etwa 285 Brinell, die sich in wenigen Tagen durch die Kaltverfestigung auf 300 bis 310 Brinell erhöht. Bei mehr als 10 000 aufgeschweißten Herzstücken und mehr als 100 000 Schleuder- und anderen Fehlstellen hat sich der „GA 250“ bestens bewährt.

Praktische Auftragschweißung

Nächst der Weichenzunge ist wohl das Herzstück der am stärksten beanspruchte Teil einer Weiche, ja sogar des Gleises überhaupt, und damit auch dem stärksten Verschleiß unterworfen. Die beim Überfahren eines ausgeschlagenen Herzstückes auftretenden Schläge wirken sich nicht nur auf dieses, sondern auch auf den ganzen Zustand des Bettes und oft auf die ganze Weiche aus, so daß der Zustand des Herzstückes oft mitbestimmend wird für die Lebensdauer der ganzen Weiche.

Früher wurden die ausgeschlagenen Herzstücke ausgebaut und durch neue ersetzt, sie stellten nur noch Schrottwert dar, im günstigsten Falle konnten einzelne Teile wieder verwendet werden.

Diese an sich teure Angelegenheit hat noch den Nachteil, daß sich das neue Herzstück den anderen ab-

gefahrenen Teilen der Weiche nicht genügend anpaßt, um das ruhige Überfahren sicherzustellen, das wünschenswert ist und stets angestrebt wird.

In der autogenen Auftragschweißung ist nun ein Verfahren entwickelt worden, das es ermöglicht, die Herzstücke im Betriebe wieder der Güte nach einwandfrei und auch wirtschaftlich instand zu setzen. Und nicht nur die Herzstücke, sondern in demselben Maße können ausgeschlagene Schienenenden und Schienen mit Schleuderlöchern, Abblätterungen und Ausbrüchen im Fahrkopf durch die Auftragschweißung so wiederhergestellt werden, daß der weiteren Verwendung als Schienen erster Klasse nichts mehr im Wege steht.

Abb. 6 zeigt ausgeschlagene Schienenherzstücke und ein Doppelherzstück, bei dem eine Flügelschiene starke Ausbrüche zeigt. Ob die Herzstücke ausgeschlagen oder ausgebrochen sind, ist gleichgültig, sie können in gleicher Weise durch die Auftragschweißung instand gesetzt werden.

Sehr zahlreich und bekannt unangenehm in ihrer Auswirkung, sowohl hinsichtlich des Bettes als auch des rollenden Materials, sind die in den Schienen auftretenden Schlaglöcher in ihren verschiedenen Formen.

Abb. 7 zeigt einige Schleuderlöcher, die beim Anfahren der Lokomotive durch Reiben der Lokomotivräder auf der Stelle entstanden sind, und eine Abblätterung im Fahrkopf, die durch einen Materialfehler entstanden sein dürfte.

Bei Ausbrüchen im Fahrkopf zeigt die ganze Oberfläche Risse, die teilweise sehr tief gehen und ein späteres Ausbrechen zur Folge haben oder gar ganze Schienenbrüche hervorrufen. Die Ursache solcher Fehlstellen soll hier nicht weiter dargestellt werden.

Nicht immer treten die Schäden so offen zutage, man findet sie häufig in versteckter Form. Wenn man aber eine Strecke mit Schleuderlöchern aufschweißte, so ist es wünschenswert, auch alle die versteckten Fehlstellen zu erfassen, die sich in kürzerer Zeit doch zu Abblätterungen oder Ausbrüchen auswirken. Ist man darüber im Zweifel, ob es sich um eine Fehlstelle handelt oder nicht, so braucht man die Stelle nur mit dem Schweißbrenner zu erwärmen, um zur richtigen Erkenntnis zu kommen. Ist eine Fehlstelle vorhanden, so hebt sich der gelockerte Werkstoff infolge seiner Ausdehnung durch die Wärme sofort ab, wie Abb. 8 zeigt. Durch anschließendes Unterschlagen mit dem Meißel zeigt sich dann die Fehlstelle in ihrer ganzen Größe. In der gleichen Abbildung ist weiter dargestellt, wie die Schweißflamme solche Stelle von zwar

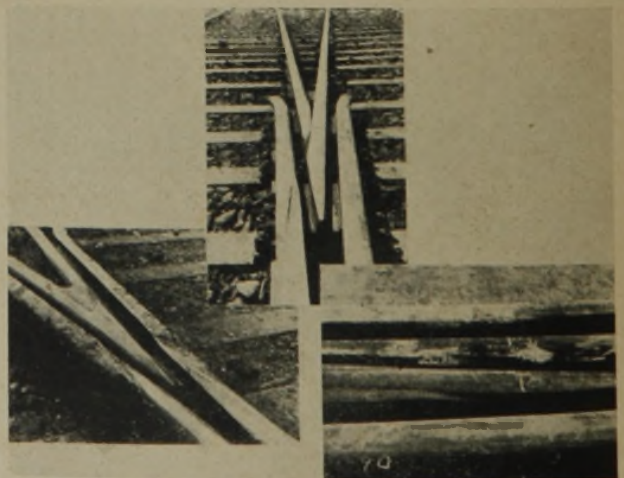


Abb. 6: Ausschlagene Herzstücke

geringerer Höhe, aber um so größerer Länge aufgedeckt hat, und eine andere Stelle, an der durch die Schweißflamme unter einer ehemals ziemlich glatten Oberfläche starke Porosität freigelegt wurde.



Abb. 7: Schleuderlöcherabblätterung

An den mittels Schraublaschen verbundenen Schienenendentrennen infolge der erforderlichen Temperaturlücken starke Schläge auf, die u. a. auch die Schienenenden stark in Mitleidenschaft ziehen.

Ausgeschlagene Herzstücke und die an den Schienen gezeigten Fehlstellen stellen vorläufig das Hauptgebiet der Auftragschweißung an Schienenwegen dar. Fast alle anderen sich aus dem Verschleißergebenden Reparaturen können

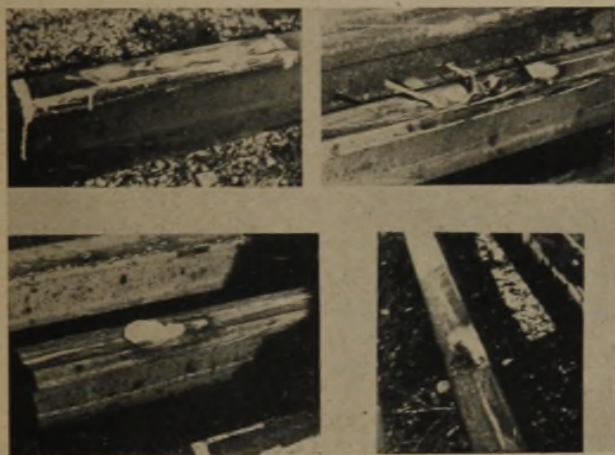


Abb. 8: Abblätterungen

selbstverständlich ebenfalls durch Auftragschweißung bewältigt werden.

Der Ausbau von fehlerhaften Stücken und der Einbau von Ersatzstücken ist immer mit verhältnismäßig hohen Kosten und unangenehmen Verkehrsstörungen verbunden, deshalb soll das Aufschweißen möglichst im Betriebe erfolgen. — Schienenenden, Schlaglöcher und sonstige Fehlstellen in Schienen werden immer im Betriebe aufgeschweißt. Herzstücke sollten nur dann ausgebaut und in der Werkstatt aufgeschweißt werden, wenn auch die Futterstücke und Schraubenbolzen ausgeschlagen sind und ausgewechselt werden müssen, das Stück also schon aus diesem Grunde in die Werkstatt muß. Neuerdings werden aber auch schon diese Arbeiten, soweit es möglich ist, auf der Strecke erledigt. Aus wirtschaftlichen Gründen soll ein Ausbau nur dann stattfinden, wenn infolge zu starken Verkehrs nicht eine Arbeitszeit von mindestens 15 Minuten gewährleistet ist.

Aufzuschweißende Stücke werden von Öl, Fett, Rost usw. gut gereinigt, übergewalzter Werkstoff wird mit dem Schweißbrenner erwärmt und mittels Schrotmeißels beseitigt. Fehlstellen werden bis auf den Grund aufgeschmolzen, damit man einen einwandfreien Untergrund zum Aufschweißen erhält.

Beim Aufschweißen der Herzstücke wird mit dem Auftragen einer Flügelschiene begonnen, wie das Abb. 9 zeigt. Es wird nach der Rechtschweißung gearbeitet. Raupe wird neben Raupe und Lage auf Lage gelegt. Geschweißt wird jeweils ein Stück von etwa 120 bis 150 mm Länge, das anschließend durch Hämmern in Rotglut vergütet und profiliert wird. Man erhält dadurch ein feinkörniges Schmiedegefüge.

An der Oberfläche läßt man die etwas raue Raupe der Rechtsschweißung beim letzten Anwärmen nach der Methode der Linksschweißung verlaufen, entfernt mittels eines Hobelblattes die an der Oberfläche befindliche Schlacke und egalisiert dann die Schweißse mit dem Schlacht- und Vorschlaghammer. Man erhält auf diese Weise eine Fahrfläche, die selbst den höchsten Anforderungen genügt. Nach einigen Tagen des Überfahrens ist die geschweißte Stelle nicht mehr von einer ungeschweißten zu unterscheiden.

Je nach den auf der Strecke herrschenden Verhältnissen und Fahrgeschwindigkeiten wird der Aufbau der Schweißse verschiedenartig vorgenommen. Erörterungen darüber würden jedoch an dieser Stelle zu weit führen. Abb. 10 zeigt einige durch Auftragschweißung instand gesetzte Herzstücke und eins, das bereits 1½ Jahr in Betrieb ist. Die Haltbarkeit der aufgeschweißten Stücke ist gleich der neuer Stücke.

Schienen mit abgefahrenen Enden und Schlaglöchern werden sinngemäß wie die Herzstücke behandelt.

Während bei den Herzstücken ein meßbarer Verzug nicht eintritt, biegt sich die aufgeschweißte Schiene beim Erkalten durch. Der Ausgleich wird geschaffen durch beiderseitiges gleichzeitiges Anwärmen im Übergang vom Steg zum Fuß.

Auf einem Oberbaustofflager durch Auftragschweißung wieder instand gesetzte Schienen, die ehemals ihrer zahlreichen Schleuderlöcher wegen ausgebaut werden mußten und nicht mehr verwendungsfähig waren, wurden durch das Aufschweißen der Fehlstellen wieder zu Schienen erster Klasse hergerichtet und erneut in Hauptstrecken verlegt.

Ein weiteres Gebiet sieht man auf Abb. 11, die das Aufschweißen einer Weichenzunge und Backenschiene im Betriebe zeigt.

Man beginnt mit dem Aufschweißen an der Spitze und verfährt im übrigen genau wie beim Aufschweißen von Herzstücken. Da die Weichenzunge nur einseitig ausgeschlagen ist und somit auch nur einseitig aufgeschweißt wird, zieht sie sich auch beim Erkalten einseitig zusammen und wird krumm. Der Ausgleich wird

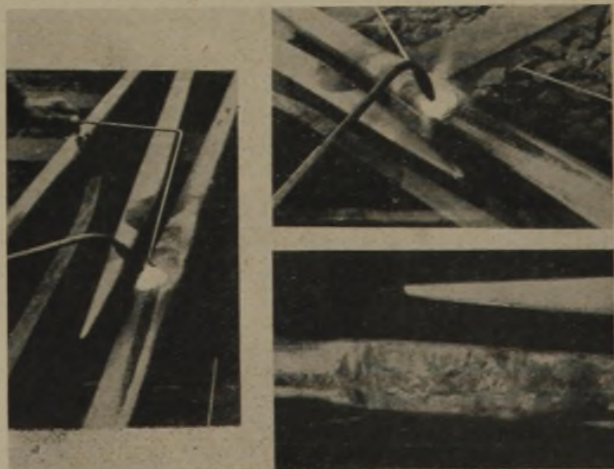


Abb. 9: Auftragschweißung an Herzstücken

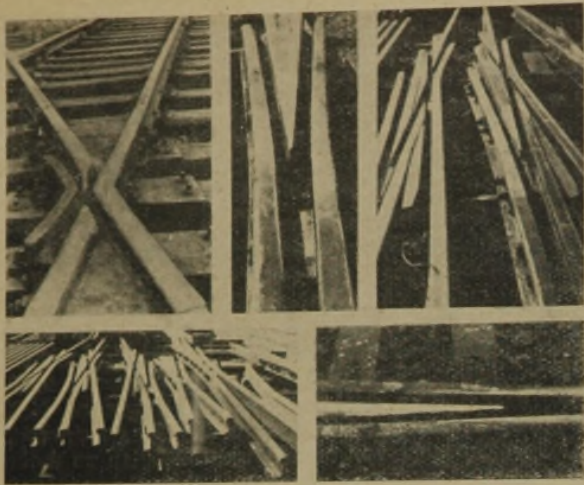


Abb. 10: Aufgeschweißte Herzstücke

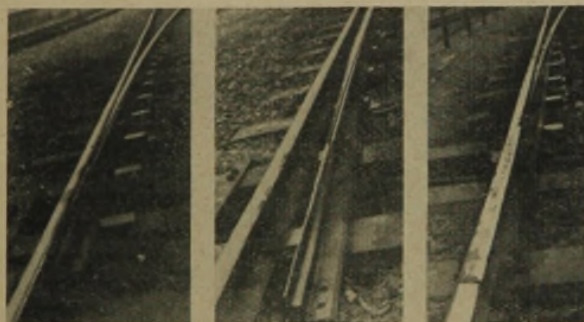


Abb. 11: Aufgeschweißte Weichenzungen

wiederum durch gegenseitiges Anwärmen ohne besondere Schwierigkeiten geschaffen, so daß zum Schluß die Zunge genau so sorgfältig an der Backenschiene anliegt wie vor dem Schweißen. Das gegenseitige Anwärmen wird erleichtert durch das Abstellen der Zunge von der Backenschiene, wie das aus Abb. 11 ersichtlich ist. Meist ist auch die Backenschiene stark ausgeschlagen und muß ebenfalls aufgeschweißt werden (Abb. 11 rechts). Die Gesamtlänge, Zunge und Backenschiene, beträgt oft 8 bis 10 m und noch mehr, trotzdem lassen sich die Schweißungen einwandfrei ohne besondere Schwierigkeiten ausführen.

Die Schienenstoßschweißung

Die Schäden, die durch den gelaschten Schienenstoß auftreten, sind hinreichend bekannt, so daß hier nicht näher darauf eingegangen zu werden braucht. Die Stoßstelle ist eine der schwächsten Stellen des Gleises, sie verursacht erhebliche Kosten bei der Gleisunterhaltung. Man ist deshalb dazu übergegangen, möglichst viele Laschenstöße zu beseitigen durch das Zusammenschweißen mehrerer Schienen zu größeren Längen. Auch hierfür hat in den letzten Jahren die Autogenschweißung, insbesondere auch wegen ihrer großen Wirtschaftlichkeit, immer mehr Anwendung gefunden.

Wie bei den Auftragdrähten mußte auch bei den Drähten für die Verbindungsschweißung besondere Sorgfalt auf die gute Verschweißbarkeit gelegt werden. Der Fluß wurde etwas zäh ausgebildet, damit auch eine gute Verschweißbarkeit an stehender Wand möglich war und der Fluß beim Schweißen der Stege nicht abtropft. Versuchsweise wurde auch mit zahlreichen Schweißdrähten, die einen dem Schienenwerkstoff angepaßten Kohlenstoffgehalt besaßen,

Schweißungen ausgeführt. Drähte mit 0,6 C und 0,8 Mn und mit verschiedenen höheren Si-Gehalten ergaben sehr häufig poröse Stellen, waren gegen Überhitzung sehr empfindlich und zeigten eine große Neigung zum Schäumen und Kochen des Flußbades. Es ist deshalb zweckmäßig, an Stelle von C durch andere Legierungselemente die höhere Festigkeit in der Schweißze zu erreichen. Eine sehr gute Verschweißbarkeit zeigten Zusatzmaterialien, die Cu und Ni oder Ni-Cu-Mn enthielten. Auch Cu-V-Mn-Zusätze ergaben eine gute Verschweißbarkeit mit dem höher gekohlten Schienenwerkstoff. Heute benutzt man für sämtliche Verbindungsschweißungen an Schienen nur noch den bekannten GV3-Draht. Der obere Teil des Kopfes wird mit dem Auftragschweißdraht GA3 ausgefüllt.

Die Konstruktionen des geschweißten Schienenstoßes sind sehr zahlreich. Vielfach, insbesondere im Ausland, wurde und wird auch heute noch teilweise das Anschweißen seitlicher Laschen oder das Unterschweißen von Fußplatten in den mannigfaltigsten Formen und Konstruktionen propagiert, wie dies Abb. 12 zeigt.

Alle diese Anordnungen sind mehr oder weniger eine Folge der in früheren Jahren mit ungeeigneten Zusatzmaterialien verschweißten und deshalb zum größten Teil gebrochenen Stöße. Die Lösung des Problems wurde immer wieder von der konstruktiven Seite aus in Angriff genommen. Besonders die Fußverstärkungen reizten immer wieder das Interesse, um die hierdurch erreichte Querschnittsvergrößerung als festigkeitserhöhendes Moment auszunutzen. Alle diese Konstruktionen bedingen immer Kraftumleitungen und Querschnittssprünge, also Spannungshäufungen und hohe maximale Spannungen, die bis das Sechsfache der normalen Spannungen betragen können.

Da es bei Schienenstößen, besonders in freiliegenden Gleisen, weniger auf eine hohe statische, als auf eine hohe dynamische Festigkeit ankommt und Verbindungen mit homogenem Spannungsverlauf bekanntlich die höchste Schwingungsfestigkeit ergeben, wogegen die Laschenkonstruktionen gegen Ermüdung sehr empfindlich sind, haben sich auch die besprochenen Konstruktionen in stark schwingungsbeanspruchten Gleisen nicht bewährt. Die Schienen werden beim Befahren dauernd auf Biegung beansprucht, deshalb ist die Erreichung einer hohen Biegeschwingungsfestigkeit Grundbedingung. Die Lösung des Problems kam von der metallurgischen Seite, durch die Entwicklung von Zusatzwerkstoffen,

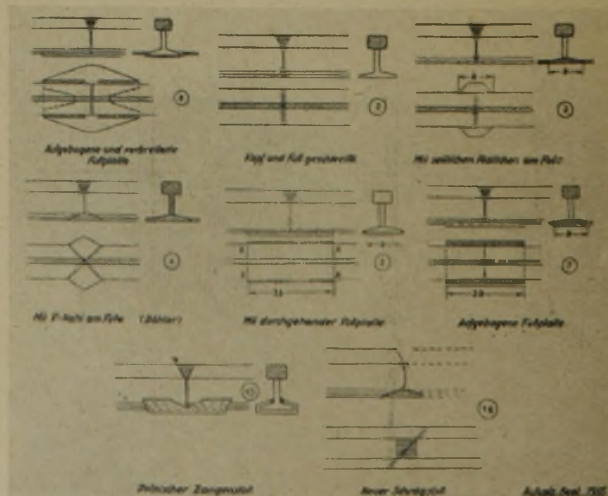


Abb. 12: Konstruktive Anordnungen von Schienenstoßverbindungen

die der Schweiß eine hohe Biegeschwingsfestigkeit geben.

Wir haben die zur Verstärkung angebrachten Laschen von jeher als Unsicherheitslaschen betrachtet und deshalb abgelehnt. Die einfachste, naheliegendste und auch wirtschaftliche Stoßverbindung besteht darin, daß man die zu verbindenden Schienenenden in ihrer Achse als Stumpfstoß verschweißt und so den ursprünglichen ununterbrochenen Querschnitt wieder herstellt. Die so geschweißte Verbindung ergibt die übersichtlichsten und einfachsten Spannungs- und Kraftübertragungsverhältnisse und für die gegebenen Belastungen ein Minimum an Spannungen. In der Hauptsache treten nur Zug- und Druckspannungen auf.

Dem Schweißen des Schienenstoßes geht eine entsprechende Vorbereitung voraus, die mit dem Schneidbrenner vorgenommen wird (Abb. 13).

Der Fahrkopf wird V-förmig-halbkreisförmig entnommen, der Steg X-förmig und der Fuß wieder V-förmig. Der Abschrägungswinkel beträgt etwa 50 bis 60 Grad.

Entsprechend Abb. 13 wird nach der Vorbereitung mit dem Verschweißen des Fußes begonnen. Das Verschweißen erfolgt von zwei Schweißern beiderseitig gleichzeitig, beginnend an der Fußwurzel, in Richtung der Fußenden. Zuerst wird in die V-Fuge eine dünne Raupe gelegt, um gut durchschweißen zu können und Kerben zu vermeiden. Mit einer zweiten oder bei größeren Profilen noch einer dritten Raupe wird der Fuß vollgeschweißt. Die Fußenden werden etwas verstärkt aufgetragen und unter Verwendung einer geeigneten Unterlage in Rotglut gehämmert. Schweißkrater und Einbuchtungen dürfen an den Fußenden unter keinen Umständen zurückbleiben, weil der Fuß am stärksten beansprucht wird und von hier immer die Brüche ausgehen. Anschließend an das Verschweißen des Fußes läßt man die Fußwurzel von unten her ohne Drahtzusatz verlaufen, um auch hier etwa zurückgebliebene Kerben noch zu beseitigen. Durch das Verlaufenlassen der Fußwurzel wird gleichzeitig die Schweißung ausgeglüht. Man erhält an dieser Stelle ein besonders feinkörniges Gefüge. Jetzt wird der Steg beiderseitig gleichzeitig von unten nach oben verschweißt.

Zuletzt erfolgt das Verschweißen des Kopfes. Während der eine Schweißer von oben her die erste Lage legt, wärmt der andere Schweißer von unten her vor, um einen schnelleren und besseren Fluß zu bekommen. Das Verschweißen erfolgt in einzelnen, nebeneinander- und übereinandergelegten Raupen, die jeweils mittels Kugelhämmern in Rotglut gehämmert und dadurch vergütet werden. Nach dem Verschweißen der letzten Lage erfolgt das Egalisieren und Profilieren, genau wie bei der Auftragschweißung, mittels Schlicht- und Vorschlaghammer.

Im Kopf der Schiene befindet sich mehr Werkstoff als im Fuß, folglich zieht sich auch der Kopf beim Erkalten

mehr zusammen. Um hierfür einen Ausgleich zu schaffen, bzw. um ein Absacken der Schiene in Höhe des Stoßquerschnitts zu verhindern, bockt man die Schienen vor dem Verschweißen etwas gegeneinander auf. Wo das aus irgendwelchen Gründen nicht möglich ist, schafft man den Ausgleich

durch beiderseitige gleichzeitige Gegenwärmung am Übergang vom Steg zum Fuß, wie bei der Auftragschweißung an Schienen.

Übergangstöße

Ein besonderes Kapitel bilden die Übergangstöße. Plötzliche Querschnittsprünge müssen der damit verbundenen Spannungshäufungen und hohen maximalen Spannungen wegen vermieden werden. Es mußte deshalb ein Stoß konstruiert werden, der übersichtliche Spannungs- und Kraftübertragungsverhältnisse gewährleistet. Der Übergang muß ganz allmählich sein und darf nicht in die Querschnittszone des geschweißten Stoßes hineinragen.

Beim Verbinden zweier verschiedener Profile mit geringem Höhenunterschied sind die Forderungen leicht dadurch zu erreichen, daß man aus dem Steg der höheren Schiene einen Keil ausschneidet, die Schiene zusammendrückt und dann den normalen Stoß verschweißt, nachdem zuvor die Horizontalnaht im Steg verschweißt worden ist. So hergestellte Stöße aus den Profilen S 49 und Pr. 8 zeigt Abb. 14.

Bei größeren Höhenunterschieden entnimmt man mittels Schneidbrenners dem Steg der höheren Schiene einen keilformartigen Ausschnitt in einer Breite gleich dem Höhenunterschied, in einer Gesamtlänge von 250 mm.

Gemäß Abb. 15 wird alsdann der Fuß zuerst an Stelle 1 erwärmt und heruntergedrückt, dann an Stelle 2 erwärmt und mittels einer kleinen Vorrichtung zusammengedrückt auf die Höhe der niederen Schiene.

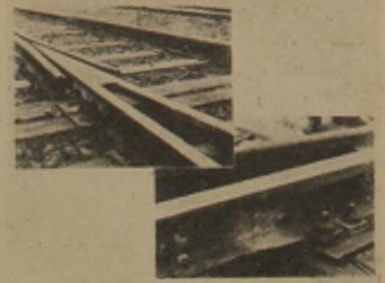


Abb. 14: Autogen geschweißter Uebergangstos

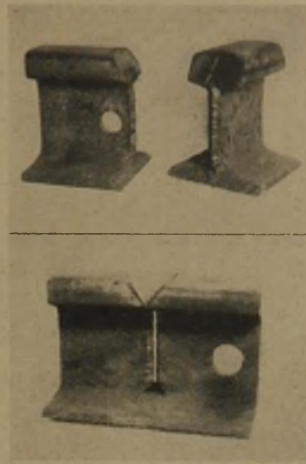
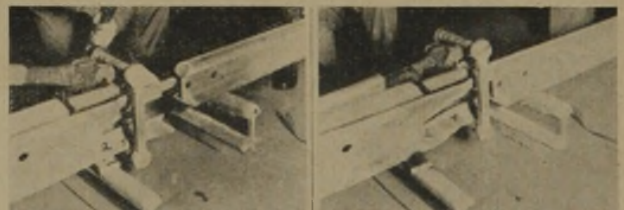
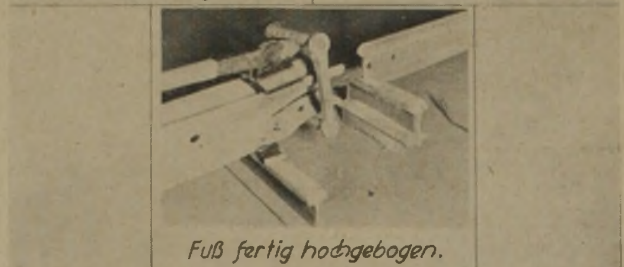


Abb. 13: Autogen geschweißter Schienensumpfstos. Darstellung der Arbeitsgänge



Stelle 1 erwärmen und Fuß nach unten biegen.

Stelle 2 erwärmen und Fuß nach oben ziehen.



Fuß fertig hochgebogen.

Abb. 15: Hochziehen des Fußes mittels Vorrichtung



Abb. 16: Fertiggeschweißter Stoß

Zuerst wird nun wieder die Horizontalnaht im Steg verschweißt. Der Ausgleich zwischen den verschiedenen Fußbreiten wird dann durch das Anschweißen eines Übergangbleches geschaffen.

Als dann wird der Stoß wie jeder normale Stumpfstoß verschweißt.

Das Übergangblech am Fuß wird allmählich verlaufend mit dem Schneidbrenner abgerundet, und zum Schluß wird die Leitschiene erwärmt und mit dem Handhammer ausgehalten. Abb. 16 zeigt den fertigen Übergangstoß.

Autogen geschweißte Kreuzungen

In das Gebiet der Schienenstoßschweißung fallen auch die autogen geschweißten Kreuzungen. Kreuzungen wurden bisher fast ausschließlich durch angeschraubte oder angenietete Laschen zusammengehalten. Diese Bauweise bedingt eine sorgfältige Paßarbeit, die nur durch das Ausfräsen der Schienen auf Fräsmaschinen erreicht werden kann. Diese Kreuzungen müssen in großen Werkhallen montiert, demontiert, an Ort und Stelle geschafft und dort wieder zusammengebaut werden. Durch diese Arbeitsweise entstehen sehr hohe Kosten. Durch die im Betriebe auftretenden Schläge und Erschütterungen lockern sich stets die Niete und Schrauben, wodurch wiederum hohe Unterhaltungskosten aufgewendet werden müssen. Mit der Autogenschweißung kann das Vorbereiten und das Schweißen der Kreuzungen sofort an Ort und Stelle aus normalen Schienen erfolgen. Abb. 17 zeigt das Zusammenschweißen einer Auflauf-Rillenschienenkreuzung.

Das Verschweißen des Fußes und des Kopfes erfolgt wie bei der normalen Schienenstoßschweißung. Der Steg wird mittels Kehlnähten beiderseitig angeschweißt. Das Verziehen der Kreuzung wird dadurch verhindert, daß man jeweils eine entsprechende Vorspannung gibt. Desgleichen muß die Schrumpfung Berücksichtigung finden.

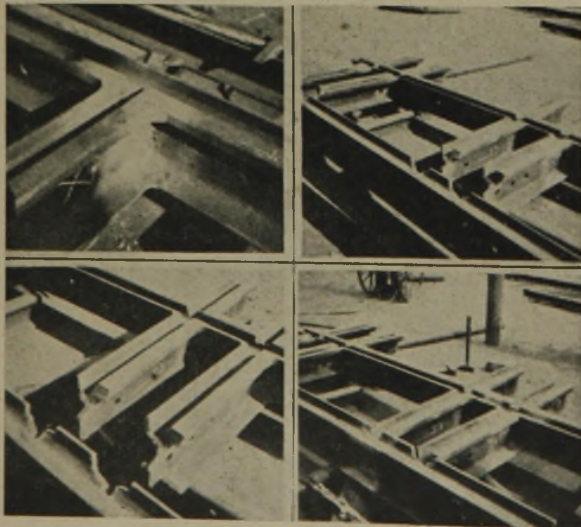


Abb. 17: Schweißen einer Auflauf-Rillenschienenkreuzung

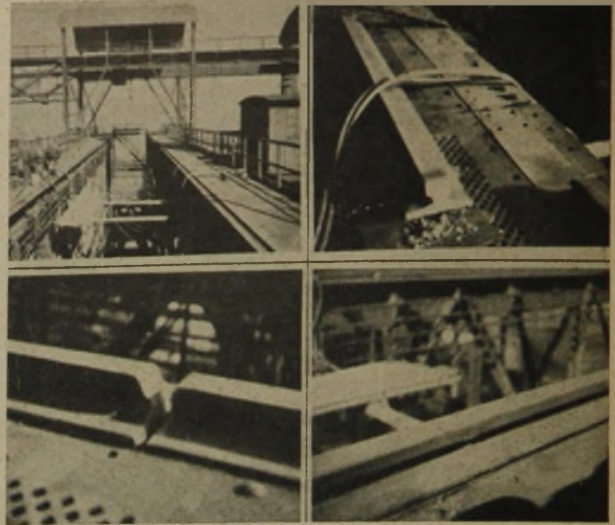


Abb. 18: Schweißen von Kranbahnschienen

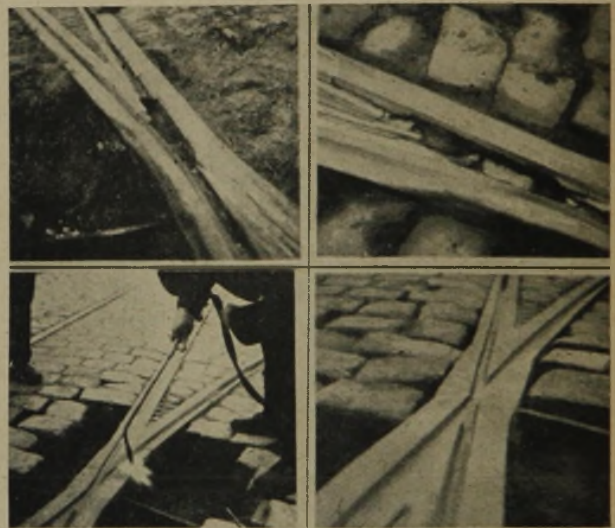


Abb. 19: Reparatur eines Rillenschienenherzstückes

Nach Fertigstellung der Kreuzung wurden die Rillenböden in ihrer ganzen Breite, auf eine Höhe von 25 mm aufgeschweißt und mit den erforderlichen Ausläufen versehen. Als Schweißdraht wurde hier der GA4-Draht verwendet, der eine noch höhere Härte und Verschleißfestigkeit hat als der GA3-Draht.

Kranbahnschienenstöße

Abb. 18 zeigt das Einschweißen eines Paßstückes auf einer Kranbahn in 60 Meter Höhe.

Auch diese besonders stark beanspruchten Schienen mit Raddrücken bis zu 60 Tonnen werden heute mit bestem Erfolg autogen geschweißt.

Im Gegensatz zu den normalen Vignolschienen wird bei der Kranbahnschiene die Vorbereitung zum Schweißen vom Kopf bis zum Fuß V-förmig vorgenommen. Fuß, Steg und die untere Hälfte des Kopfes werden mit GV3-, die obere Hälfte des Kopfes mit GA3-Draht geschweißt. Die einzelnen Lagen werden auch hier, wie beim normalen Stoß, in Rotglut mit Kugelhämmern gehämmert.

Weitere Reparaturschweißungen

Bei Reparaturschweißungen an gebrochenen Schienen, Herzstücken, Herzspitzen verfährt man

analog den anderen besprochenen Schweißungen. Grundsätzlich ist hierbei festzuhalten, daß die Vorbereitung zum Schweißen immer mit dem Schneidbrenner entsprechend vorgenommen wird. Risse, Brüche und Fehlstellen müssen stets so weit ausgeschnitten werden, bis der gesunde Untergrund erreicht ist. Alsdann kann man hierauf wieder aufbauen. Vor dem Schweißen muß man sich darüber klar sein, ob es sich um eine Verbindungs- oder um eine Auftragsschweißung handelt und dann den entsprechenden Schweißdraht wählen. Die obere Hälfte des Kopfes

aber wird in allen Fällen mit Auftragdraht geschweißt, um in der Schweißung die gleiche Härte zu erzielen, die bei der ungeschweißten Schiene an der Lauffläche vorhanden ist.

Wohl kaum ein Beispiel, wie es auf Abb. 19 zu sehen ist, zeigt so deutlich, was man auf dem Gebiete der Reparaturschweißung mit der Autogenflamme erreichen kann. Das vollständig zu Bruch gefahrene Herzstück wurde völlig wieder hergestellt und die Haltbarkeit ist gleich dem eines neuen Herzstückes.

Die elektrische Schienenstumpfschweißung^{*)}

Von Ing. S. Hoch, SSW., Berlin

(Infolge Erkrankung des Verfassers dieser Arbeit wurde der Vortrag von Ing. Thieß, SSW., Berlin, auf der Schweißtagung gehalten. Die Schriftleitung.)

Im heutigen Oberbauwesen der Deutschen Reichsbahn sind rund 5 Milliarden Reichsmark investiert, was etwa $\frac{1}{3}$ des gesamten Anlagekapitals ausmacht. Fachleute schätzen, daß nahezu die Hälfte der gesamten Schienenunterhaltungskosten auf die Instandsetzung der Schienenenden unmittelbar vor und hinter dem Laschenstoß entfallen, der das schwächste Glied in der Gleistechnik bildet.

Die Unterbrechung der Fahroberfläche an den Enden der Schienen löst unangenehme und schlagartige Stöße aus, sobald Eisenbahnzüge darüberrollen. Trotz enger Schwellenteilung lockern sich im Laufe der Zeit die Laschenverbindungen, die Passungen werden ausgeschlagen, die Bettungen verschlechtern sich und die Schienenenden verschleifen zusehends. Um Störungen zu vermeiden, müssen derartige Gleise auf der Strecke ausgebaut und sofort durch neue ersetzt werden. Diese kostspieligen Aufwendungen, die ständige Wartung und Erneuerung des Schienenoberbaues bildeten die Veranlassung, die Anzahl der Laschenstöße möglichst einzuschränken und sogenannte Langschienen zu verlegen. Da deren Herstellung aus walztechnischen Gründen an bestimmte Längenabmessungen gebunden ist, suchte die Praxis einen anderen Weg und schweißt heute Normalschienen alter und neuer Herkunft zu Langschienen zusammen. In Amerika ging man noch einen Schritt weiter und schuf den endlosen Schienenstrang, der vollkommen lückenlos ist und dadurch nicht nur den Oberbau, Bettungsstoff usw., sondern auch das rollende Waggonmaterial außerordentlich schont, die Unterhaltungskosten für den Oberbau ganz wesentlich herabsenkt, die Lebensdauer verlängert und das Reisen angenehmer macht. Mit Rücksicht auf die Austauschbarkeit des im Verschleiß unterschiedlichen Schienenmaterials, die besonderen Betriebsbedingungen des Signalwesens usw. werden die Schienenstränge im allgemeinen nicht länger als eine Meile gebaut. Die abgebildeten 500-m-Langschienen (Abb. 1) sind aus 13-m-Normalschienen lückenlos zusammengesetzt und werden auf der Baustelle zu endlosen Schienen ergänzt.

Die Beherrschung der Zug- und Druck- bzw. Knickspannungen, von wandernden Biegelasten herrührend, der Eigenspannungen sowie der auftretenden Schwingungsbeanspruchungen innerhalb des Gleises bildet heute in Verbindung mit einer geeigneten Einbettung der Schiene kein Problem mehr! Auch der Transport von Langschienen wird selbst in kurvenreichen Strecken mit Steigungen ohne Erschwerung durchgeführt, da Schienen in ihrer horizontalen Schwerpunktbene überraschend biegsam sind und deshalb keiner besonderen Verankerung bedürfen.

Als häufigst angewendetes Schweißverfahren bei der Herstellung laschenloser Langschienen ist der vollquerschnittige Anschluß durch die elektrische Widerstandsschweißung anzusprechen. Das Wesen dieser Schweißart beruht auf dem Prinzip, beim Stromdurchfluß mit Hilfe eines hohen Kontaktwiderstandes an den sich berührenden Flächen Stromwärme zu erzeugen, die das Material auf Schmelztemperatur bringt, bei welcher es gestaucht wird.

Abb. 2 gibt Aufschluß über den Verlauf der Stromfäden unter Berücksichtigung eines zu schweißenden Schienenprofils. Der Schweißstrom, entnommen einem Einphasen-Wechselstrom-Umspanner mit geringer Sekundärspannung und hoher Schweißstromstärke, wird den wassergekühlten, hartgeschmiedeten und austauschbaren Elektrodenbacken zugeführt, die gleichzeitig das Werkstück unverschiebbar einspannen.

Im Sekundärstromkreis sind 4 Widerstandsgrößen zu unterscheiden:



Abb. 1: Transport amerikanischer 500-m-Langschienen

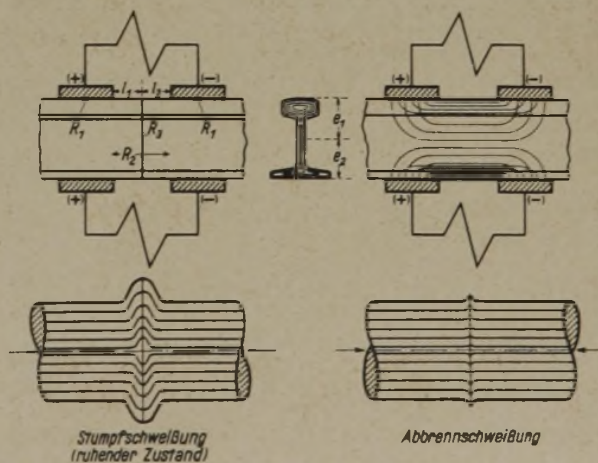


Abb. 2: Schienenschweißung

^{*)} Werkfotos SSW., Berlin

1. Der Widerstand der Sekundärwicklung und Zuleitungen zu den Elektrodenbacken;
2. der Kontaktwiderstand zwischen Elektrodenbacken und Werkstück; er wird durch großen Einspanndruck und metallisch saubere Berührungsflächen (Linienauflage) so klein wie möglich gehalten;
3. der Kontaktwiderstand zwischen den zu schweißenden Stirnflächen; hier ist ein gewisser Widerstand erwünscht, um Stromwärme zu erzeugen;
4. der Widerstand, herrührend von der Einspannlänge L_1 bzw. L_2 , dem Querschnitt sowie von der Art der Materialzusammensetzung.

Bei Werkstoffen mit sehr unterschiedlichen Zerreißeigenschaften wird das Einspannen der Werkstücke unsymmetrisch gehandhabt, d. h. die kohlenstoffarme Werkstückhälfte ragt länger über als diejenige mit hohem C-Gehalt, um auf diese Weise beiderseits gleichmäßig breite Wärmezonen zu erzwingen.

Die besondere Querschnittgestaltung des Schienenprofils macht eine unsymmetrische Stromverteilung in den parallelen Zweigen erforderlich, d. h. für den kompakten Schienenkopf müssen wesentlich mehr Stromeinheiten aufgebracht werden als für den dünnen Steg bzw. Schienenfuß. Die physikalische Erscheinung der Stromverdrängung (Skin-Effekt) darf dabei nicht außer acht gelassen werden, denn sie bewirkt Temperaturdifferenzen und damit plastische Unterschiede, die zur Folge haben, daß der Kern des Schienenkopfes den Stauchdruck zu einem großen Teil verschluckt, während Schienensteg und -fuß mit geringeren spezifischen Drücken gestaucht werden.

Die ursprüngliche Art der *Stumpfschweißung* vollzog sich nach dem reinen Erwärmungsverfahren im ruhenden Zustand. Die Werkstückflächen berühren sich unter einem bestimmten Anpreßdruck, die Enden werden schweißwarm und gestaucht. Dieses Verfahren bringt lange Erwärmungszeiten mit sich, breite Wärmeabschnitte, ungleichmäßig verteilte Temperaturen und Schlackeneinschlüsse. Da Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft unmittelbar auf die Schweißze einwirken können, ist mit Oxydeinschlüssen größeren Umfanges zu rechnen, wodurch die Verbindungsfestigkeit stark herabgesetzt wird. Das charakteristische Merkmal des Stoßes ist ein ausgeprägter Stauchwulst, die Stauchkraft weicht in Richtung der Stauchachse aus, entsprechend der Ablenkung der angedeuteten Kraftlinien. Beim Abschleifen des Wulstes werden die äußeren Walzfasern durchschnitten, was einer Kerbe gleichkommt.

Bei der sogenannten *Abrennschweißung* ist eine Werkstückhälfte fest eingespannt, während die andere auf einem Schlitten beweglich gelagert ist. Es werden zwei Verfahren unterschieden, und zwar das sogenannte Abrennen vom kalten Zustand aus und das Abrennverfahren mit Vorwärmung. Beim Abrennverfahren vom kalten Zustand aus werden die Werkstücke miteinander in Berührung gebracht, wodurch sofort das Abrennen beginnt. Dann werden die Werkstücke zur Aufrechterhaltung des Abrennvorganges entsprechend dem Abbrand dauernd gegeneinander bewegt. Dieses Verfahren kann nur bei kleinen Querschnitten angewendet werden, weil zu seiner Durchführung bei größeren Querschnitten viel zu große Energien notwendig würden. Aus diesem Grunde kommt daher dieses Verfahren für die Schienenschweißung nicht in Frage.

Bei der Abrennschweißung mit Vorwärmung werden die Werkstücke zunächst wiederholt miteinander in Berührung gebracht und getrennt. Bei jeder Berührung entsteht ein Kurzschluß, so daß das Werkstück

durch den dabei auftretenden Kurzschlußstrom so stark erhitzt wird, daß nach Erreichung genügender Erwärmung zu einem ständigen Gegeneinanderbewegen der Werkstücke übergegangen werden kann. Die Vor-

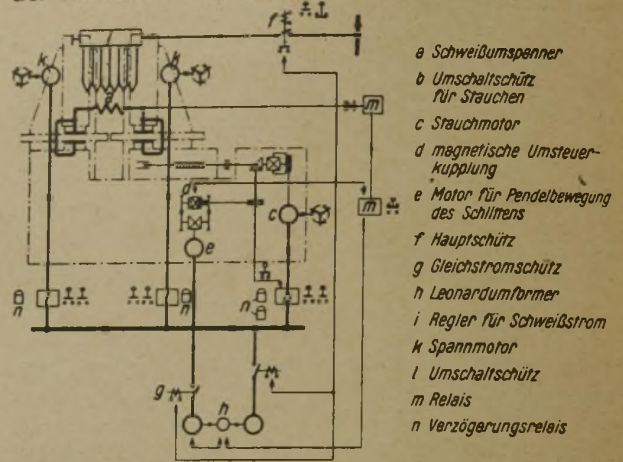


Abb. 3: Vollselbsttätige Abrennschweißmaschine 160/320 KVA, grundsätzliche Schaltung

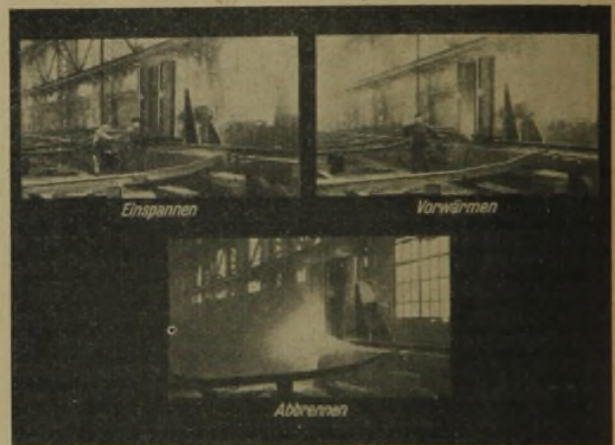


Abb. 4: Widerstandsschweißung, Abrennschweißen von Eisenbahnschienen

wärmung nimmt dabei den größten Teil der Zeit in Anspruch. Der letzte Teil des Erhitzungsvorganges, das Abrennen dagegen, bei dem die Werkstücke in der Aufrechterhaltung des Schweißvorganges ständig gegeneinander bewegt werden, ist nur verhältnismäßig kurzzeitig. Er dauert bei der Schweißung schwerer Schienenprofile nur etwa 7 bis 10 Sekunden, während die Vorwärmung $2\frac{1}{2}$ bis 3 Minuten in Anspruch nimmt. An den Abrennvorgang schließt sich selbstverständlich in bekannter Weise der Stauchvorgang an, bei dem die Werkstücke schlagartig zusammengepreßt werden.

Zur Durchführung dieses Abrennverfahrens wurde eine vollautomatische Schweißmaschine entwickelt. Wie aus der schematischen einpoligen Darstellung der Abb. 3 ersichtlich ist, erfolgt der Antrieb des Maschinenschlittens für die Erwärmungsperiode durch einen Gleichstrom-Nebenschlußmotor, der von einem Leo-



Abb. 5: Selbsttätige Abrennschweißmaschine 160/330 KVA, für Querschnitte bis 12 000 mm²

nard-Aggregat gesteuert wird. Dieser Motor arbeitet über eine elektromagnetische Wendekupplung auf ein Ausgleichsgetriebe, das die Spindelmutter des Schlittens antreibt und so den Schlitten in Bewegung setzt. Als selbsttätiges Steuerorgan für die Schlittenbewegung ist ein Umsteuerrelais vorgesehen. Eine Kontaktwalze schaltet nach Beendigung der Erwärmung den Stauchmotor ein.

Die Ausübung des Stauchdruckes erfolgt also schlagartig, ohne irgendwelche Dämpfung. Die angewendete Stauchgeschwindigkeit ist ein Vielfaches der Abbrenggeschwindigkeit, um die Trennfuge, vom Abbrennen herrührend, so schnell wie möglich zu schließen. Je nach Erfordernis gestattet der Stauchvorgang auch ein „Nachkneten“ der Schweißse, wodurch das Übergangsgefüge günstig beeinflusst wird.

Abb. 4 veranschaulicht drei Augenblicksbilder beim Schienenschweißen, das Einspannen, Vorwärmen und Abbrennen. Der Spannvorgang geschieht mittels Fuß-

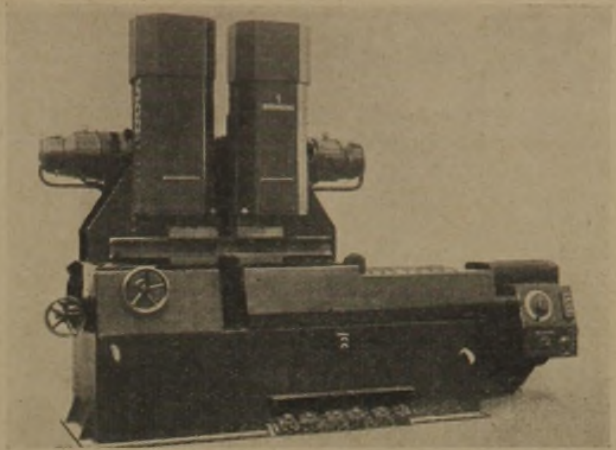


Abb. 8: Selbsttätige elektrische Stumpfschweißmaschine für Querschnitte bis 20 000 mm²

In ihrem mechanischen Aufbau besteht die Maschine aus dem Maschinenbett, dem festen und beweglichen Spannbock sowie dem beweglichen Stauchschlitten mit motorischem Antrieb.

Sämtliche Konstruktionsteile sind in Anlehnung an neuzeitlichen Werkzeugmaschinenbau durchgebildet und als lichtbogengeschweißte Stahlkonstruktion von nicht zu übertreffender Festigkeit und Starrheit. Da die Maschine mit einem großen Magneten vergleichbar ist, der mikroskopisch feine, z. T. glasharte Abbrennbestandteile (Eisenoxyd) aus der Luft anzieht, ist die Abdichtung der Getriebe, Lager- und Führungsstellen besonders sorgfältig vorgenommen. Zur Schonung der Oberfläche der stromführenden Spannbacken sind beiderseits heb- und senkbare Transportrollen untergebracht. Eine durch Handrad feinfühlig verstellbare Spannbacke erleichtert den Ausgleich etwaiger Profiltoleranzen abgefahrener Schienen.

Der elektrische Teil (Abb. 6) der Maschine besteht aus dem wassergekühlten Schweißtransformator, rucksackartig hinter den Spannböcken angeordnet, mit zwei Regelschaltern, 5 Grob- und 4 Feinstufen. Schalt- und Relaischrank sind organisch mit dem Maschinenbett vereint, die Steuerungselemente erschütterungsfest und staubdicht gekapselt.

Vorwärme- und Stauchmotor des Stauchschlittenantriebes sind geschlossene Flanschmotoren. Die völlig gekapselten Getriebe werden als Präzisionselemente für sich geprüft und eingebaut. Ein Steuerpult auf der Bedienungsseite zentralisiert alle Einstellvorgänge.

Wie bei jeder Werkzeugmaschine, so sind auch bei vollselbsttätig arbeitenden Stumpfschweißmaschinen alle erdenklichen Sicherheitsvorrichtungen eingebaut, um etwaigen unberufenen Eingriffen des Bedienungspersonals oder sonstigen Zufälligkeiten zwangsläufig zu begegnen. Die

gebräuchlichsten Schienenformen gibt Abb. 7 wieder, darunter auch Übergangsschienen, Schwellen und Vollschienen. Der Vollquerschnitt von 12 300 mm² bedeutet für die 12 000-mm²-Maschine einen Grenzüberschneidung, vorausgesetzt, daß die Schienenenden gut vorgewärmt und

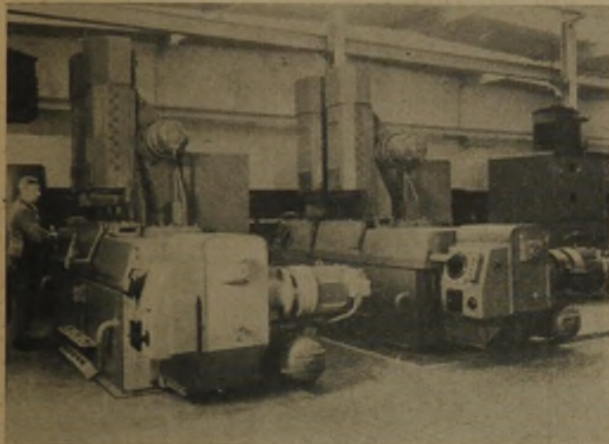


Abb. 6: Zwei vollselbsttätige Abbrennschweißmaschinen je 160/320 KVA, für Querschnitte bis 12 000 mm²

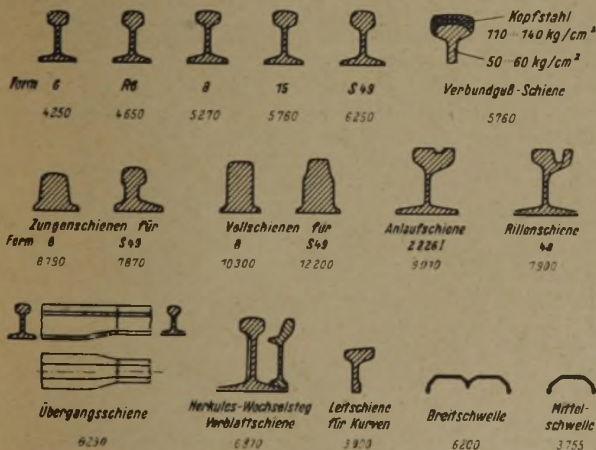


Abb. 7: Gebräuchlichste Schienenprofile und Schwellen (Querschnitte)

trittschalter, der Schweißer hat beide Hände frei zum Ausrichten der Schienen.

Die selbsttätig arbeitende Universal- und Schienenstumpfschweißmaschine WS 8 für 320 kVA Leistung (Abb. 5) ist für 12 000 qmm Vollquerschnitt ausgelegt. Ringförmige Querschnitte sind wegen des großen Nebenschlusses nur bis zu einem bestimmten Kleinstdurchmesser schweißbar. Die Grenze für rohrförmige Querschnitte, Schienen und ähnliche Profile liegt bei etwa 60 bis 70% des zulässigen Höchstquerschnittes wegen des ungünstigen Verhältnisses von abkühlender Oberfläche zum Schweißquerschnitt.

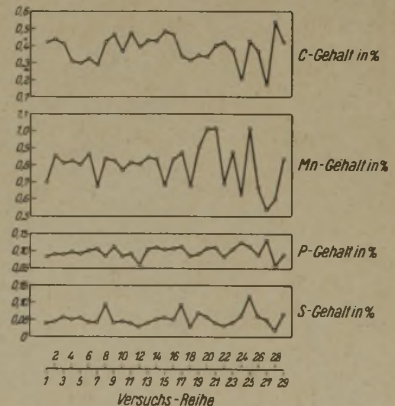


Abb. 9: Widerstandsschweißung; chemische Zusammensetzung von geschweißten Eisenbahnschienen Form 8a

kein wärmeempfindliches Material verschweißt wird. Dem C-Gehalt von Schienen mit einer Durchschnittsfestigkeit von 70 bis 80 kg entsprechend, wäre ein spezifischer Stauchdruck von je 3—4 kg/mm², d. h. ein Modell für etwa 50 t Stauchkraft erforderlich. Bild 8 gibt eine derartige Maschine für 20 000 bis 25 000 mm² Schweißquerschnitt wieder.

Die Abb. 9 und 10 geben einen Ausschnitt wieder aus Großzahl-Versuchsschweißungen mit Schienen, welche die Anpassungsfähigkeit der Steuerung widerspiegeln. Trotz großer Streuung in der chemischen Zusammensetzung sind Schweißzeit, Wärmezone und kWh-Verbrauch außerordentlich gleichmäßig; die vorgeschriebenen statischen Sollbiegewerte wurden in allen Fällen erreicht.

Das günstigste Wärmezustandsbild (Bild 11) verläuft bei Schienen trapezförmig mit der Basis nach oben. Die Umkehrung in übertriebener Gestalt ergibt ein glattes, schlecht verzahntes Bruchgefüge im Schienen-

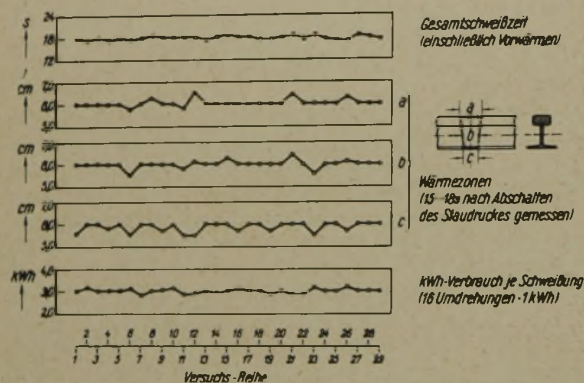


Abb. 10: Widerstandsschweißung, Abbrennschweißen von Eisenbahnschienen, Form 8a, Auswirkung der Steuerung

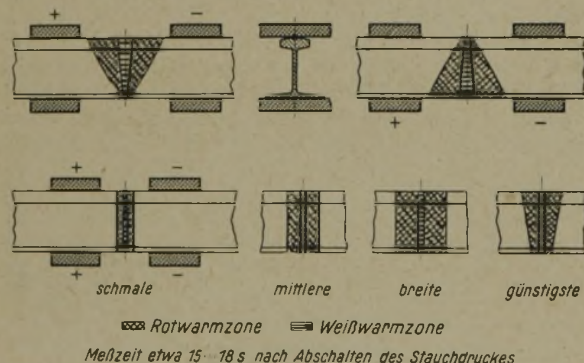


Abb. 11: Widerstandsschweißung Wärmezonen an Eisenbahnschienen bei Abbrennschweißen

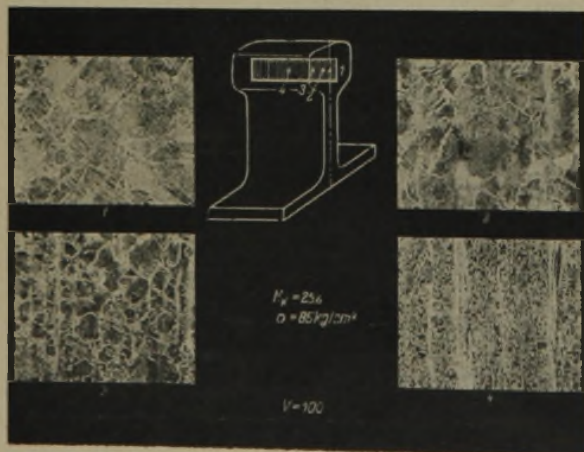


Abb. 12: Abbrennschweißung, Gefügebilder geschweißter Eisenbahnschienen

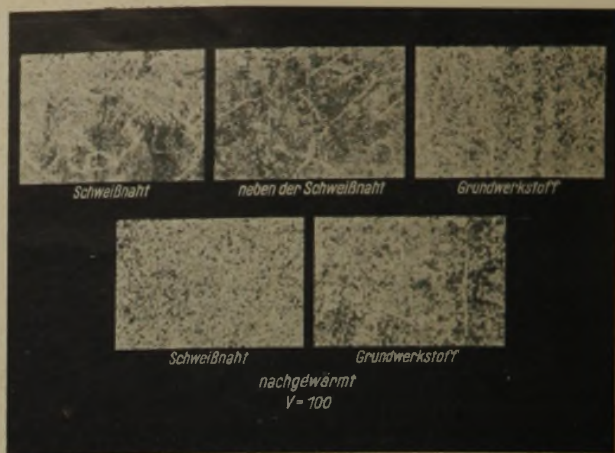


Abb. 13: Abbrennschweißung, Gefügebilder normalisierter Schweißungen

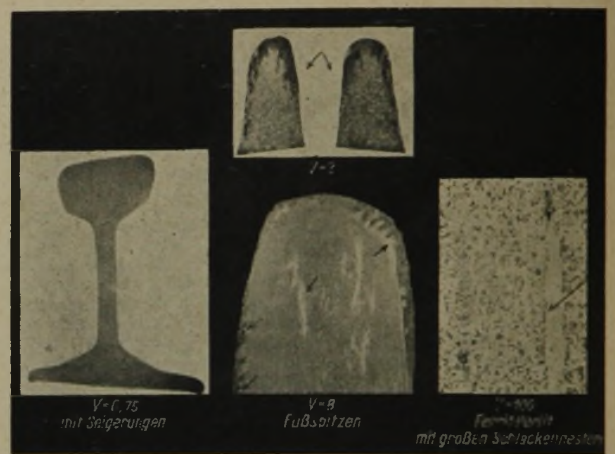


Abb. 14: Abbrennschweißung von Eisenbahnschienen, Schlackeneinschlüsse im Material

steg und -fuß. Bei Sondermaterial empfiehlt sich eine partielle Vorwärmung des Schienenkopfes unter Dazwischenschaltung eines Distanzplättchens aus Eisenblech, das nach Beendigung des ersten Berührungskurzschlusses wieder herausbrennt.

Die Schliffbilder (Abb. 12 bis 14) zeigen die reine Schweißnaht, wenige Zehntel Millimeter breit, aus martensitischem Gefüge, teils überlagert von Widmannstädtischem Gefüge. Ein Bruch im Schweißgefüge erfolgt selten, dagegen des öfteren in der Übergangszone mit grober Kornausbildung. Durch einen Normalisierungs-Glühprozeß, etwa 3 Minuten nach der Schweißung beginnend, verbunden mit langsamer Abkühlung unter Asbesthauben, wird das Gefüge wesentlich verfeinert (Abb. 13). 20 mm von der Schweißnaht entfernt kann bereits von einem vergüteten Schienenwerkstoff gesprochen werden.

Die erzielte statische und dynamische Biegefestigkeit hängt weniger von der Höhe des Kohlenstoffgehaltes ab als von dem Verunreinigungsgrad, den Phosphor und Schwefel hervorrufen. Kaltsprödigkeit, herrührend von hohem Phosphorgehalt, läßt sich durch einen Glühprozeß vor- bzw. nach der Schweißung bekämpfen, schwieriger ist die Beherrschung eines zu hohen Schwefelgehaltes. Bei höheren Prozentsätzen als 0,1 für Phosphor und Schwefel zusammen ist fast immer mit örtlichen Schlackenreicherungen (Abb. 14), Walzseigerungen, Randblasen und dgl. zu rechnen, welche die Verbindungsfestigkeit herabsetzen, insbesondere, wenn die Fehlstellen in den am stärksten belasteten Fasern auftreten.

Härteuntersuchungen der Fahroberfläche ergeben einen Brinellhärteanstieg über der Schweißse und eine Absenkung mit zunehmendem Auslauf der Wärmezone. Durch Normalglühen des Gefüges wird der Härteübergang geglättet; es findet eine Art Weichglühung statt. Dehnungsversuche (Abb. 15a, b) an mehrfach im Abstand von 50 mm geschweißten Schienen zeigen, daß das Arbeitsvermögen der Schweißverbindung im Kopf, Steg und Fuß durchweg höher liegt als beim entsprechenden Ausgangsmaterial.

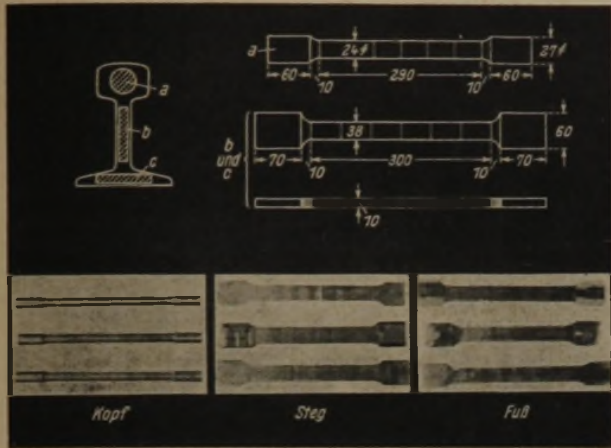


Abb. 15a: Abbrennschweißung, Zerreißstäbe aus mehrfach geschweißten Eisenbahnschienen

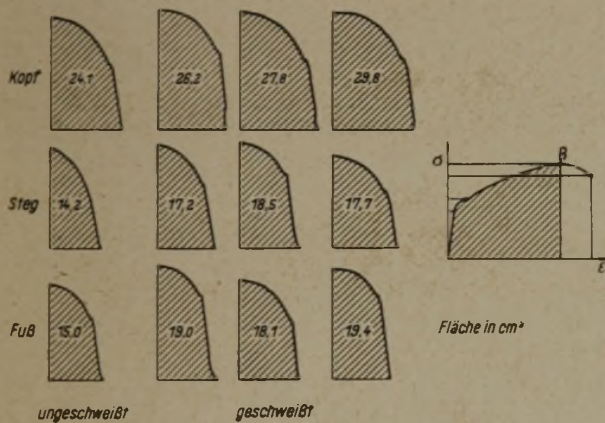


Abb. 15b: Abbrennschweißung, Festigkeitsversuche an mehrfach geschweißten Eisenbahnschienen, Arbeitsvermögen

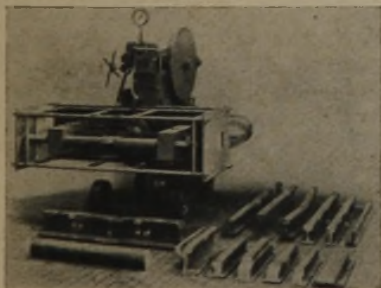


Abb. 16: Elektrohydraulische Biegepresse

Statische Biegeuntersuchungen auf einer elektrisch-ölhydraulischgetriebenen Biegepresse (Abb. 16) mit einstellbarer Biegegeschwindigkeit ergaben bei normal geglähten Proben

die größten Durchbiegungen. Bei abtastenden Fallversuchen — Bärgewicht 500 kg, Fallhöhe max. 4,5 m — hielten geschweißte Schienenstücke bei einer Auflagenentfernung von einem Meter etwa $\frac{4}{5}$ der Schlagzahlen des Vollmaterials aus.

Die Schienenbruchstatistik der Deutschen Reichsbahn weist aus, daß von rund 400 000 verlegten Schienenstößen nur 0,02% gebrochen sind. Es handelte sich dabei durchweg um halb selbsttätig hergestellte Schweißungen.

Amerikanische Untersuchungen auf wechselnde Biegefestigkeit bestätigen die in Deutschland gemachten Erfahrungen, wonach die geschweißte Schiene dem Vollmaterial nicht unterlegen ist. Eine getrennte Wärmehandlung bei etwa 700° C brachte eine wesentliche Steigerung der Lastwechselzahlen, eine zu schmale Wärmezone, verbunden mit kurzer Schweißzeit, ergab die geringste Dauerbiegefestigkeit. Der Stauchdruck betrug in allen Fällen 7 kg/mm².

Die Wirtschaftlichkeit der Stumpfschweißung alter, noch brauchbarer Normalschienen, unter Berücksichtigung eines frachtgünstigen Hin- und Rücktransportes, einer normalen Abschreibung der Schweißanlage, der verausgabten Löhne usw., hängt ausschließlich von der zweckdienlichen Einrichtung der Schweißstraße ab. Die reine Schweißzeit von etwa 3 Minuten im Mittel, die stündliche Leistung bis zu 12 Schweißungen, der geringe kW-Verbrauch und die denkbar einfachste Vorbereitungsarbeit wird auch künftig von keinem anderen Arbeitsverfahren auch nur



Abb. 17: Fahrbare Schweißanlage (Amerika)

annähernd erreicht. Die Neigung, dieses ortsgebundene Schweißverfahren auch auf der Baustelle zu verwenden, ist deshalb besonders groß und hat im Ausland bereits zur Entwicklung von fahrbaren Schweißanlagen (Abb. 17) geführt. Für die Neuverlegung von Langschienen dürften sich diese selbstfahrenden Schweißzüge auch in anderen Ländern durchsetzen, während die elektrische Abbrennstumpfschweißung von bereits verlegten Schienen an Ort und Stelle grundsätzlich noch Schwierigkeiten macht, so daß dafür noch keine endgültige Fertigungsmethode gefunden ist.

Beitrag zur Kenntnis der Vorgänge beim Schweißen von St 52¹⁾

Von Direktor Dipl.-Ing. H. Hauttmann, Oberhausen

Eine gewisse Sorge um die Sicherheit der geschweißten St-52-Bauwerke erwuchs aus dem Auftreten von Rissen und plötzlichen verformungslosen Brüchen in Bauteilen aus starken Walzprofilen. Die Erscheinung, daß Konstruktionsteile aus Stahl, an dem bei der elementaren Werkstoffprüfung gute Zähigkeitseigenschaften nachzuweisen sind, verformungslose Brüche erleiden, ist in der Vergangenheit schon öfter Gegenstand von Besorgnissen, Diskussionen und Untersuchungen gewesen.

Wenn man in der Fachliteratur zurückblättert, so stößt man immer wieder auf Versuche, die rätselhaften Ursachen plötzlich auftretender verformungsloser Brüche zu entschleiern. Unter den vielen Beobachtungen und Untersuchungen, die in der Vergangenheit auf diesem Gebiete angestellt wurden, sind an dieser Stelle zwei besonders erwähnenswert. Die ersten beziehen sich auf Gießpfannenbrüche, über die eine Zahl von Veröffentlichungen²⁾ erschien. Gießpfannenhaken haben sehr beträchtliche Querschnitte und brachen mitunter an Stellen, wo weder hohe Beanspruchungen noch äußerlich sichtbare Kerbwirkungen vorliegen. Man hatte früher in vielen Fällen solche Brüche von Pfannenhaken kurzerhand auf vermeintliche Materialfehler oder Mängel in den Materialeigenschaften zurückgeführt. Meistens mußten Schönheitsfehler in der chemischen Zusammensetzung, ein Schlackeneinschlüßchen oder einige Prozent fehlender Dehnung als Ursache des Bruches herhalten. In vielen Fällen konnte regelmäßig beobachtet werden, daß die Brüche an den Stellen des Hakens auftraten, die von Stahl-, Eisen- oder Schlackenspritzern am häufigsten getroffen werden, doch wagte vor Jahren niemand, darin etwa den Anlaß für die Brüche zu vermuten. Heute scheint es uns durchaus erklärlich, daß die örtlichen Eigenschaftsänderungen und Wärmespannungen, die durch die Vorgänge beim Auftreffen von Stahlspritzern im Werkstoff ausgelöst werden — Vorgänge, die mit den Verhältnissen beim Schweißen eine gewisse Ähnlichkeit haben —, für dicke Querschnitte Anlaß zum verformungslosen Trennungsbruch werden können.

Pfannenhakenbrüche sind heute überwunden. Die Beseitigung dieser für die Arbeitenden in einer Stahlwerkstoffgießgrube so gefährlichen Brüche ist einerseits durch eine konstruktive Maßnahme, die Einführung des der „Demag“ geschützten Lamellenhakens mit Lamellendicke von etwa 20 mm gelungen. Für die Lamellenhaken hat man Letzt-Stahl und beruhigten Stahl mit den Festigkeitseigenschaften des Kesselbleches II gewählt, während früher für die Vollhaken Stähle bis 60 kg/mm² Festigkeit Verwendung fanden. Die Schäden, die selbst an zähen Stählen durch Stahlspritzer entstehen können, werden auch bei den Lamellenhaken durch Glühen (Normalisieren) in bestimmten Zeitabständen beseitigt.

Eine zweite hier bemerkenswerte Beobachtung ist in der englischen Literatur zu finden, wo Brüche³⁾ dicker Kettenglieder beschrieben und untersucht wurden mit dem Ergebnis, daß die Ursache verformungsloser Trennungsbrüche feine Anrisse bilden,

die von einer dünnen, kaltgehärteten und versprödeten Schicht der Oberfläche, die überdies unter hohen Spannungen steht, ihren Ausgang nehmen. Sogar ein sehnig-zäher Werkstoff, wie der für schwere Ozeandampferketten vorgeschriebene beste Puddelstahl bricht unter diesen Voraussetzungen verformungslos mit grobem Korn.

In den angeführten Untersuchungen wurde festgestellt, daß auch eine Aufhärtung der Oberfläche durch Einsatzhärtung in gleicher Weise die Einleitung verformungsloser Trennungsbrüche bewirkt. Die Beseitigung der Bruchgefahr, die durch die Reckhärtung der Oberfläche der Kettenglieder beim Gegeneinanderschlagen im Einholraum und Aufschlagen auf die Kettennuß gebildet wird, ist hier ebenfalls durch die in bestimmten Abständen durchgeführten Glühungen möglich.

Mit diesen Blicken auf benachbarte Gebiete soll gezeigt werden, daß bei der Anwendung dicker Querschnitte Vorsicht am Platze ist, wenn eine steile Inhomogenität der Spannungszustände und gleichzeitig versprödetende Einflüsse, die örtlich beschränkt sein können, auftreten. Die Auflösung des dicken Querschnittes in ein Paket von dünneren Lamellen, die Anwendung zäher, weicherer Stähle und die Beseitigung der Oberflächenbeeinflussungen durch Glühen hat bei den Pfannenhaken und Ketten die geforderte Sicherheit gebracht.

An dieser Stelle sei erwähnt, daß in der Konstruktion geschweißter Brücken unter dem Zwang der schweißtechnischen Möglichkeiten das ebenso sichere wie unschöne Konstruktionselement des Lamellenpaketes der genieteten Brücke gegen dickwandige Querschnitte in geschweißten Brücken ausgetauscht werden mußte. Es ist also der umgekehrte Weg wie bei der Entwicklung des Gießpfannenhakens beschritten worden.

Zur Durchführung des Nutschweißbiegeversuches an fertigen geschweißten Bauwerken aus St 52 geführt haben, hat man als Studienprobe die von Prof. Bierell und Kommerell vorgeschlagene Nutschweißbiegeprobe gewählt⁴⁾. An dieser Probe treten unter bestimmten Voraussetzungen plötzliche verformungslose Brüche ein.

Zur Durchführung des Nutschweißbiegeversuches wird an einem Probestück von 200 mm Breite und einer Länge von 400 mm plus 6mal der Blechdicke, in der Mitte und Längsrichtung eine Nut von 8 mm \varnothing eingearbeitet und mit einer Schweißraupe vollgeschweißt. Man kann aber auch auf die Nut verzichten und die Schweißraupe auf der Oberfläche ziehen (Schweißraupenbiegeprobe). Dann wird die Probe so gebogen, daß die Schweißraupe in das Zuggebiet zu liegen kommt. Mit diesem Versuch sollen die Verhältnisse, wie sie in Halsnähten von Stehblechträgern vorliegen, möglichst weitgehend nachgeahmt werden.

Indes darf man nicht vergessen, daß sich diese Probe doch beträchtlich von den Verhältnissen in Stehblechträgern unterscheidet:

1. Hat die Schweißnaht eine andere Lage im Querschnitt des Gurtprofils und damit zur Schwerpunktachse.
2. Besteht die Schweißnaht nur aus einer einzigen Lage.

¹⁾ Abb. des Verfassers.

²⁾ C. Canaris, „Stahl und Eisen“, Bd. 32 (1912) Seite 611/14; C. Sennsbröner, „Stahl und Eisen“, Bd. 39 (1919) Seite 213/17 und 441; vgl. ferner „Stahl und Eisen“, Bd. 39 (1919) Seite 993/97, 1132/38, 1309/18; A. Pomp, „Stahl und Eisen“, Bd. 40 (1920) Seite 1136/38 sowie 1711/16

³⁾ H. J. Gough, A. J. Murphy, The causes of failure of wrought iron chains, London 1928, vgl. „Stahl und Eisen“, Bd. 48 (1928) Seite 1448.

⁴⁾ G. Bierell, W. Stein, „Stahl und Eisen“, Bd. 58 (1938) Seite 427/31; O. Kommerell, „Stahlbau“, Bd. 11 (1938) Seite 49/54.

3. Fehlen die vom Stehblech aufzunehmenden Kräfte zur Herstellung eines ähnlichen räumlichen Spannungszustandes.
4. Kann sich die Biegeprobe beim Schweißen frei verformen und steht nicht so unter Zwang wie der Gurt beim Schweißen eines Stehblechträgers.

Die Beurteilung, welcher dieser Unterschiede bei einer Übertragung der Ergebnisse auf die praktischen Verhältnisse am meisten zu berücksichtigen ist, ist sehr schwer zu treffen. Die Nutschweißprobe (Schweißraupenbiegeprobe) hat sich als Studienprobe zweifellos sehr bewährt, um Einflußgrößen hinsichtlich ihrer Wirkung auf den Bruchvorgang unter den gegebenen besonderen Verhältnissen zu ermitteln. In den kommenden Vorschriften für schweißbaren St 52 wird die Schweißraupenbiegeprobe eine wichtige Rolle spielen.

Wie oben schon angedeutet, wirken sich auf den Bruchvorgang bei der Nutschweißbiegeprobe die durch das Schweißen entstandenen Eigenspannungen und Eigenschaftsänderungen des Werkstoffes im Einflußgebiet in erster Linie aus.

Von diesen Hauptfaktoren ist der Verlauf der Eigenspannungen am schwierigsten messend zu verfolgen. Es liegen daher bisher auch nur wenig Meßergebnisse vor.

Die Ergebnisse der Eigenspannungsmessungen sind sehr davon abhängig, welches Verfahren man benutzt. Nach dem Verfahren, das Prof. Siebel bei seinen Untersuchungen⁴⁾ angewendet hat, werden in Schweißungen Eigenspannungen in der Größenordnung von 30 bzw. 15 kg/mm² in Längs- und Querrichtung festgestellt.

Mit dem Mathar-Verfahren wurden von Bollenrath⁵⁾ dagegen Zahlen in der Höhe der Trennfestigkeit angegeben. An Nutschweißbiegeproben sind noch keine Spannungsmessungen gemacht worden, mit denen es gelungen ist, die Höchstspannungen im Einflußgebiet der Schweißnaht zu erfassen. Angaben über die Verminderung der Spannungen durch Vorgewärmschweißen fehlen ebenso wie Angaben über die Spannungen bei Verwendung verschiedener Elektrodenarten, -dicken und dergleichen.

Von den Eigenschaftsänderungen des Werkstoffes im Einflußgebiet der Schweißnaht, die in einer mit Härtesteigerung gekoppelten Versprödung des Werkstoffes bestehen, läßt sich die Härteverände-

⁴⁾ E. Siebel, M. Pfender, „Archiv für das Eisenhüttenwesen“, Bd. 7 (1933/1934) Seite 407/15.

⁵⁾ F. Bollenrath, „Stahl und Eisen“, Bd. 54 (1934) Seite 630/34.

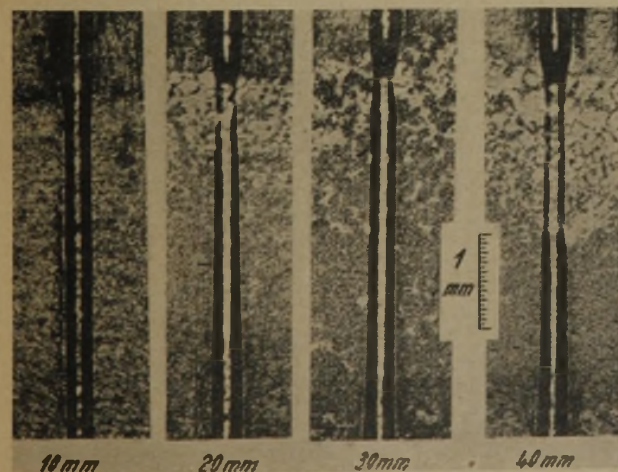


Abb. 1: Abrollbahnen der Prüfkugel über die Schweißnaht eines 10, 20 und 40 mm dicken unlegierten Kohlenstoffstahles

rung mit dem Rollhärteprüfer⁶⁾ (Rolldur)⁷⁾, mit dem es möglich ist, Schichten bis zu etwa 0,2 mm Dicke und weniger zu erfassen, in einwandfreier Weise feststellen. Alle anderen gebräuchlichen Härtebestimmungsverfahren bringen in diesem Fall zu ungenauen Ergebnissen.

Abb. 1 zeigt zur Erläuterung der Härtebestimmung mit dem Rollhärteprüfer eine Reihe von Abrollbahnen der Prüfkugel in Schliffen eines Stahles von verschiedener Dicke, die senkrecht zur Schweißnaht (im Bilde oben) gelegt sind. Man erkennt an der Spurbreite deutlich den Verlauf der Härte im Einflußgebiet der Schweißung und die Zunahme der Höchst-härte mit größer werdender Materialdicke. Die Ausdehnung der Härteschicht ist deutlich zu erkennen.

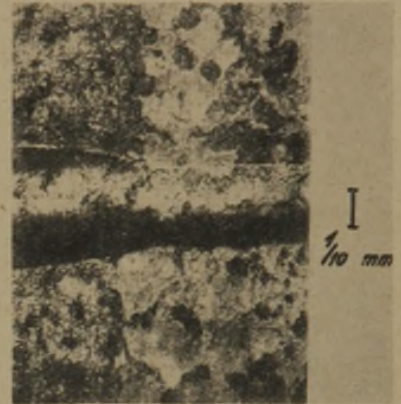


Abb. 2: Abrollbahn der Prüfkugel an der Schweißnaht

Wie eine am Rollhärteprüfer erzeugte Abrollbahn im Meßmikroskop aussieht, ist in Abb. 2 gezeigt.

Aus der Breite der Abrollbahn wird mit Hilfe einer Tabelle oder Eichkurve die Brinell- oder Vickershärtezahl abgelesen.

Die Härteannahme, wie sie bei der Nutschweißbiegeprobe im Einflußgebiet eintritt, wird, wie die Versuche ergeben haben, entscheidend beeinflusst

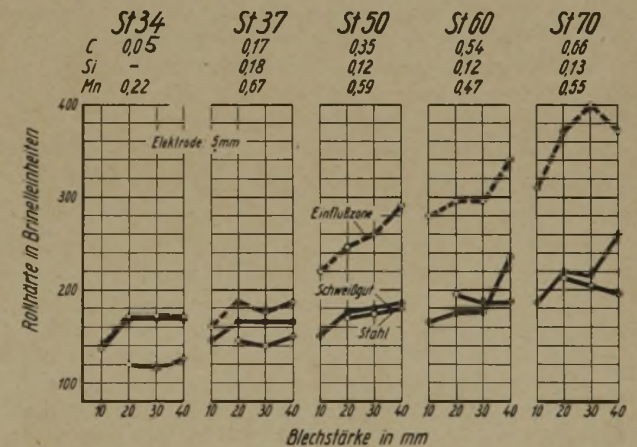


Abb. 3: Härteannahme der Stähle beim Schweißen einer 8-mm-Ø-Nut mit 5-mm-Ø-Elektrode, umhüllt (Rollhärteprüfer)

durch die chemische Zusammensetzung und bei gleicher Zusammensetzung durch die Materialstärke, Elektrodendicke, Elektrodenart — ob blank oder umhüllt —, Schweißgeschwindigkeit und Stromstärke.

Die bei der Anwendung einer 5-mm-Elektrode zum Vollschweißen der Nut von 8 mm Ø an einigen Normstählen eintretenden Härtesteigerungen zeigt Abb. 3. Mit Überschreiten eines Kohlenstoffgehaltes von etwa 0,2% nimmt die Aufhärtung des Einflußgebietes stark zu. Während der Einfluß der Dicke bei den niedrigen Kohlenstoffgehalten sehr gering bleibt, wird er bei den höheren Kohlenstoffgehalten sehr beträchtlich.

⁶⁾ DRP. und Auslandspatente angemeldet.

⁷⁾ Hergestellt vom Losenhausenwerk, Düsseldorf-Maschinenbau AG., Düsseldorf-Grafenberg, Postschließfach 27.

Zwischen der Härteannahme im Einflußgebiet der Schweißnaht und der Verformfähigkeit der Nutschweißbiegeprobe besteht beim St 52 eine deutliche Abhängigkeit wie Abb. 4 zeigt.

Maßnahmen, die die Höchst Härte im Einflußgebiet der Schweißnaht senken, dienen daher der Erhöhung der Verformfähigkeit.

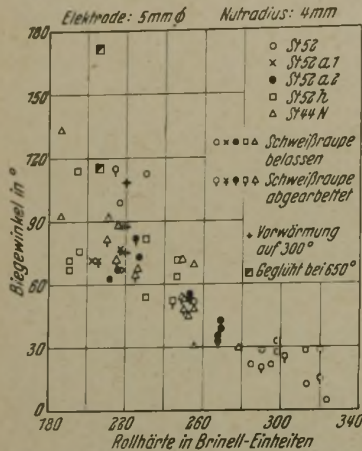


Abb. 4: Abhängigkeit der Biege Winkel der Nutschweißbiegeprobe von der Höchst Härte im Einflußgebiet der Schweißnaht an 50 mm dicken St 52 (Rollhärteprüfer)

Die hohe Härteannahme dicker St-52-Profile ist bestimmt durch die Notwendigkeit, an die obere Grenze des vorgeschriebenen Kohlenstoffgehaltes zu gehen, und durch einen erhöhten Mangan gehalt, der zur Erreichung der geforderten Streckgrenze am wesentlichsten beitragen muß. Bei gegebener Zusammensetzung des Stahls wird die Härteannahme durch die

Abkühlungsgeschwindigkeit beim Vollschiessen der Nut bzw. durch das Temperaturgefälle in der Einflußzone bestimmt. Wie schon gezeigt, ist die Dicke der Versuchskörper entscheidend. Dünne Elektroden und niedrige Stromstärken bewirken naturgemäß in dicken Querschnitten ein steileres Temperaturgefälle als dicke Elektroden und hohe Stromstärken. Wie sich die Elektrodendicke auf einen St 52 gegebener Zusammensetzung beim Schweißen einer Nut, die der Elektrodenstärke angepaßt ist, in der Höchst Härte des Einflußgebietes auswirkt, ist in Abb. 5 gezeigt.

Bei der Anwendung der 3-mm-Elektrode werden bei Dicken von 30 mm Brinellhärten von 400 erreicht, bei dieser Härte hat St 52 praktisch keine Zähigkeit mehr. Der Gedanke, die Härteannahme und die Gefahr der Anrisse von der Werkstoffseite her zu bekämpfen, ist

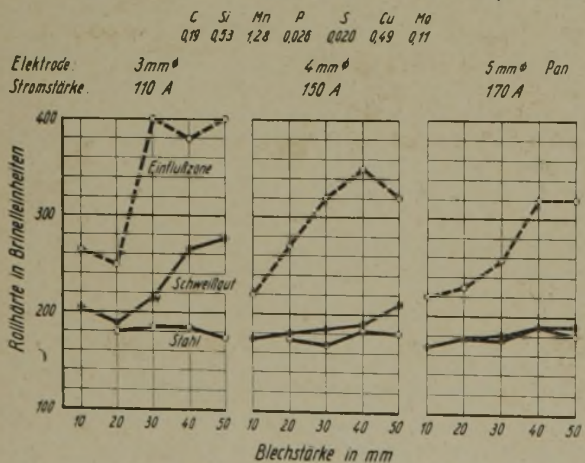


Abb. 5: Einfluß der Elektrodendicke auf die Härteannahme beim Schweißen von St 52 (Rollhärteprüfer)

naheliegender, dem Metallurgen sind Mittel zur Erreichung dieses Zieles bekannt.

Abb. 6 zeigt den Härteverlauf in Abhängigkeit der Blechdicke an zwei sonst praktisch gleich zusammengesetzten St-52-Stählen, von denen sich der im Bild rechts dargestellte St 52 durch eine besondere

Schmelzbehandlung unterscheidet. Der günstige Einfluß der Schmelzbehandlung auf die Härteannahme ist bei den großen Blechstärken deutlich. Die erwartete Verbesserung der Verformfähigkeit ist eingetreten, siehe Abb. 4 die Stähle St 52a₁ und St 52a₂.

Andere Wege, die Härteannahme des St 52 im Einflußgebiet einer Schweißnaht herabzusetzen, bestehen in einer Erhöhung der Stücktemperatur beim Schwei-

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo		C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo
	0,19	0,53	1,28	0,026	0,020	0,49	0,11		0,17	0,50	1,30	0,38	0,025	0,32	0,09

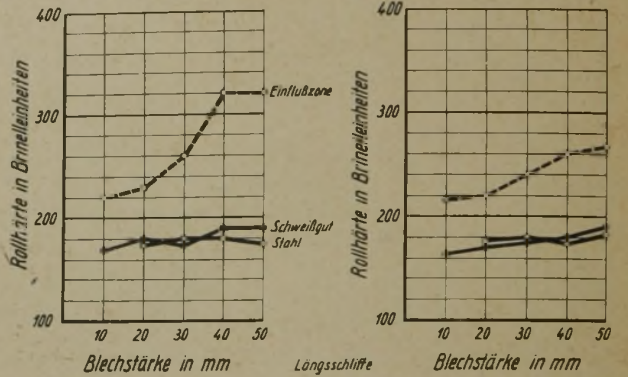


Abb. 6: Einfluß einer besonderen Schmelzbehandlung des St 52 auf die Härteannahme beim Schweißen (Rollhärteprüfer)

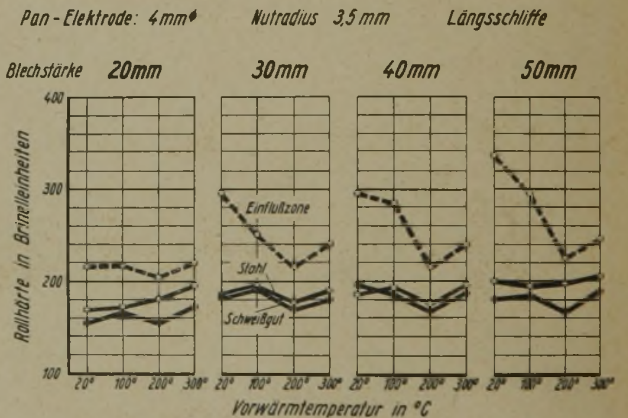


Abb. 7: Härteannahme beim Schweißen von St 52 unter Vorwärmung (Rollhärteprüfer)

ßen oder in einer Wärmebehandlung nach dem Schweißen. Wie die Härteannahme durch Vorwärmen auf verschiedene Temperaturen bei einem Stahl gegebener Zusammensetzung und verschiedener Blechdicke beeinflusst wird, zeigt Abb. 7, aus welcher ersichtlich ist, daß bei einer Blechdicke unter 20 mm das Vorwärmen keinen wesentlichen Einfluß auf die Härteannahme nimmt, während bei größeren Blech-

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo
	0,20	0,53	1,10	0,029	0,021	0,46	0,11

Blechstärke: 50 mm
Elektrode: Pan 5mm ϕ
Nutradius: 4 mm

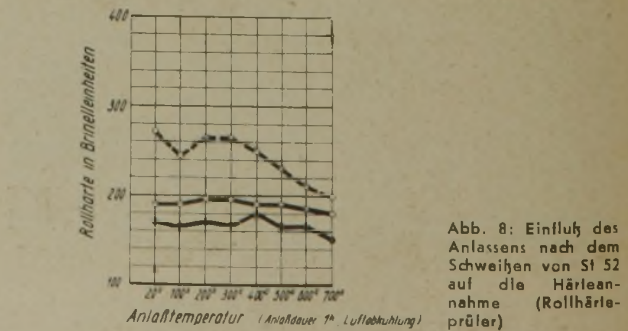


Abb. 8: Einfluß des Anlassens nach dem Schweißen von St 52 auf die Härteannahme (Rollhärteprüfer)

senkung der Härtemenge erzielt werden kann. Die niedrigsten Härten werden bei einer Vorwärmtemperatur von 200° ermittelt.

Die Wirkung einer nachträglichen Wärmebehandlung auf eine Schweißung mit einer umhüllten 5-mm-Elektrode zeigt Abb. 8.

Bei den gebräuchlichen Temperaturen des Spannungsfreigühlens (um 650° C) ist die Härte der Einflußzone nur mehr unwesentlich verschieden von der Härte des geschweißten Stahles.

Schweißen an Hochleistungsdampfessel-Bauteilen¹⁾

Schweiß- und Schweißervorschriften

Für Dampfesselschweißungen hat die Sicherheitsbehörde besondere Vorschriften erlassen. Diese finden sich in den Werkstoff- und Bauvorschriften für Land- und Schiffsdampfessel, deren Bauvorschriften, Abschnitt III, jedoch durch den Erlaß des Reichs- und Preußischen Wirtschaftsministers — $\frac{IV\ 28\ 652\ 36}{III\ 8\ 333\ 36}$ —

vom 29. September 1936 erneuert wurden. Zur besseren Beurteilung der Kesselschweißfragen sei der Abschnitt „A. Allgemeines“ vorausgeschickt:

1. An Dampfesselteilen sind Schweißungen nur zulässig, wenn nach Lage der Verhältnisse zu erwarten ist, daß die vorgesehenen Schweißverbindungen den voraussichtlichen Betriebsbeanspruchungen genügen und die Schweißarbeiten mit Sachkenntnis durch erfahrene Arbeiter unter ausreichender Betriebsaufsicht durchgeführt werden.

2. Werke, die Kesselschweißungen ausführen wollen, haben dem Reichswirtschaftsminister oder einer von diesem bezeichneten Stelle den Nachweis zu erbringen, daß sie den unter A Ziffer 1 angegebenen allgemeinen Anforderungen hinsichtlich der von ihnen ausgeführten Schweißarbeiten genügen. Auf Antrag kann solchen Werken durch den Reichswirtschaftsminister widerruflich eine Bescheinigung hierüber ausgestellt werden.

Die Werke müssen überzeugend nachweisen, daß sie über geeignete Arbeitsmittel und gut geschultes, nach anerkannten Richtlinien für die Schweißerausbildung geprüftes Personal für die Ausführung und Überwachung der Schweißarbeiten verfügen. Ebenso müssen sie der Entwicklung ihrer Arbeits- und Prüfverfahren besondere Aufmerksamkeit widmen und das Personal sowie die Schweißarbeiten laufend sorgfältig überwachen.

3. Sofern nicht einwandfrei nachgewiesen ist, daß der zu verwendende Werkstoff mit dem jeweiligen Verfahren gut schweißbar ist, muß dieser Nachweis dem vom Reichswirtschaftsminister eingesetzten Schweißausschuß im Deutschen Dampfesselausschuß erbracht werden.

Im Absatz 1 ist also verankert, daß schweißgerechte Bauart und Ausführung vorausgesetzt werden. Der Absatz 2 regelt die Zulassung der Werke, Absatz 3 die der verschiedenen Werkstoffe. Der Absatz 2 erfährt eine weitere Ergänzung durch den Erlaß des Reichswirtschaftsministers — III SW 26 049/38 — vom 30. November 1938, in dem die „Richtlinien für die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern“ festgelegt sind. Es wird darauf verzichtet, hier im einzelnen auf diese Vorschriften einzugehen. Es ist jedoch unerlässlich, daß die sich mit Kesselschweißungen befassenden Personen die Erlasse berücksichtigen. Zur Beratung stehen in jedem Falle die zuständigen Sachverständigen der Technischen Überwachungsstellen zur Verfügung, die von der Sicherheitsbehörde in allen Fällen eingeschaltet sind.

¹⁾ Die Abbildungen dieses Aufsatzes sind in einer Kunstdruckbeilage beigeheftet.

Zusammenfassung:

Die Einflußmöglichkeiten, die nach dem heutigen Stand der Kenntnisse bei der Entstehung verformungsloser Brüche in geschweißten Bauwerken aus St 52 in Frage kommen, werden beschrieben. Die Möglichkeiten zur Beseitigung der Gefahr solcher Brüche liegen nur zu einem geringen Teil bei dem Stahlhersteller. Den wesentlichsten Beitrag muß der Konstrukteur und die Schweißwerkstätte geben. Bei Berücksichtigung aller bisher erkannten Einflüsse und der neuen Kenntnisse über die Ursachen und Folgen der Härteannahme beim Schweißen ist es möglich, die Sicherheit zu schweißender St-52-Bauwerke wieder auf das geforderte Maß zu bringen.

Von Obering. Dipl.-Ing. Hermann Stehr, Essen

Schweißarbeiten an Kesseltrommeln, Sammlern und Verteilern

Trommelnähte

Die umfangreichsten Schweißarbeiten werden an den großen Kesselteilen, den Kesseltrommeln, ausgeführt. Je nach Werkstoff und Werkseinrichtungen werden wassergasüberlappte Schweißungen, elektrische und autogene Schmelzschweißungen angewandt. Der Zusatz- oder Elektrodenwerkstoff wird in der Regel dem Grundwerkstoff angepaßt. Diese Schweißnähte dürfen unabhängig von der Art des Verfahrens bis zu

einer Ziffer $\frac{\text{Güte der Schweißverbindung}}{\text{Güte des Grundwerkstoffes}}$ von $v = 0,7$

einschließlich bewertet werden. Darüber hinaus kann für ein bestimmtes, durch Schweißart und Zusatzwerkstoff gekennzeichnetes Schweißverfahren und für bestimmte Werkstoffarten eine Höherbewertung bis zu $v = 0,9$ auf Antrag zugelassen werden. Solche Anträge wurden von den verschiedensten Firmen gestellt. Diese Firmen unterzogen sich einer „Verfahrensprüfung“, in der die Güteziffern der Probeschweißungen ermittelt wurden. Der Umfang dieser Prüfungen und ein Teil der Ergebnisse sind von K. Vigen er¹⁾ im Jahre 1936 veröffentlicht. Die Vielseitigkeit solcher Prüfungen ist aus der Abb. 1 zu ersehen. Die Zulassung der Höherbewertung als $v = 0,7$ ist über die Verfahrensprüfung hinaus an die Bedingung gebunden, daß an jedem später zu schweißenden Werkstück durch eine „Arbeitsprüfung“ der Nachweis erbracht wird, daß die Schweißnähte die gleichen Güteeigenschaften haben, wie sie bei der Verfahrensprüfung festgestellt wurden. Der Ansatz einer solchen Arbeitsprüfung ist aus Abb. 2 zu ersehen. Die Probeplatten werden mit der Schweißnaht in einem Zuge durchgeschweißt, der gleichen Wärmebehandlung unterzogen und dann in Proben aufgeteilt. Die auf Grund von Verfahrensprüfungen höher bewerteten Schweißungen sind aus der in Tabelle 1 gezeigten Aufstellung zu entnehmen. Sie läßt die Art der Schweißverfahren, der Apparate und die Nähte erkennen, für welche die Höherbewertung gilt. Die Bewertungsziffern, Werkstoffe, Dicke der Wandung und Wandungstemperaturen sind angegeben. Ferner sind nähere Angaben über die laufend vorzunehmenden Arbeitsprüfungen, die Glühbehandlung

¹⁾ Dir. Dipl.-Ing. K. Vigen er VDI, Berlin: Neue Vorschriften für geschweißte Dampfessel. Z. VDI, Bd. 80, Nr. 40, v. 30. 10. 1936. — Dir. Dipl.-Ing. E. Block VDI, Gotha: Schweißen dickwandiger Kesseltrommeln. „Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfesselwesen“, Bd. 19, Heft 2, Februar 1938. — Dir. Dr.-Ing. G. Czfernasty, Frankfurt (Oder): Untersuchungen über die Schweißbarkeit niedrig legierter Kesselwerkstoffe. „Veröffentlichungen des Zentral-Verbandes der Preußischen Dampfessel-Ueberwachungs-Vereine“, Band XI.

Tabelle 1: Ausnahmen von den Schweißvorschriften nach DU

W = Wassergasschweißung
 E = Elektroschweißung
 G = Gasschmelzschweißung

K = Kessel
 D = Dampfässer
 N = Normalglühen

Sp = Spannungsfreiglühen
 R = Rundnähte
 L = Längsnähte

1) An der 14 Blechsarten bzw. an den ersten 10 Dampfässern
 2) Vergütung je nach Werkstoff
 3) Erlaß RPrWiM IV 8836 v. 17. 1. 36

Nr.	Firma	Verf.	Wert.	Werkstoff	Dicke mm	Wandtemp.	Erlaß bzw. Vereinbarung	Arbeitsprüfg.	Glüh.	Anforderungen
1.	Pintsch	W	0,9	M I und M II	unbegrenzt	unbegrenzt	23. O. V. vom 5. 10. 33	keine	N	keine
2.	Thyssen	"	"	"	"	"	"	"	"	"
3.	Mannesmann Huckingen	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4.	Pintsch	E	"	M I	≤ 45	≤ 300°	MWA IIIc 8401 v. 28. 12. 31	lfd.	"	$\sigma_{Naht} = 0,95 K_z$ 180°, Dorn 2 s 12 mkg/cm ²
5.	"	"	"	"	"	"	MWA IIIc 1274 v. 29. 6. 32	"	"	"
6.	"	"	"	M II	"	"	MWA IIIc 1741 v. 4. 4. 33	"	"	"
7.	"	"	"	"	"	"	MWA IIIc 2980 v. 7. 6. 33	"	"	"
8.	Henschel	G	0,55	M I	≤ 15	"	MWA IIIc 253 v. 19. 1. 34	keine	"	keine
9.	Thyssen	W	0,9	Th 30 R Sorte IV	unbegrenzt	unbegrenzt	Vereinbg. 24. 5. 34 ZV-Rundschr. v. 5. 7. 34	"	"	wie Verf. Prfg.
10.	Krupp	E	0,7	V2A, V4A korrosionsbest.	≥ 3	≤ 250°	MWA IIIc 1586 v. 5. 4. 34	1)	2)	keine
11.	Borsig Masch.-AG., Berlin-Tegel ..	E	0,9	M I u. M II	≤ 45	≤ 300°	RPrAM v. 8. 4. 35 IIIa 4606/35	lfd.	N	$\sigma_{Naht} \geq 0,95 K_z Bl$ Fallversuch 180° 12 mkg/cm ² VGB 8 " DVMR
12.	"	"	"	"	"	"	RPrWiM v. 16. 9. 35 IV 9928/35	"	"	"
13.	Mannesmann Huckingen ...	W	"	Sonderstahl (IZ-Qualität) Sorte III	unbegrenzt	unbegrenzt	Vereinbarung vom 22. 7. 35 (IV/2525)	6	"	Die bei den besonderen Prüfungen erzielten Werte müssen erreicht werden
14.	Deutsche Röhrenwerke AG., Werk Thyssen	E	"	Th 30 R Sorte II u. III Cu ≤ 0,2% Mo = 0,15—0,25%	15—40	"	RPrWiM v. 2. 9. 35 IV 13919/35 III 6959/35	lfd.	"	$\sigma_{Naht} \geq 0,95 K_z Bl$ Fallversuch 180° 12 mkg/cm ² VGB 8 " DVMR)
15.	Pintsch	"	"	M I u. M II mit Mo ≤ 0,5%	unbegrenzt	≤ 300°	RPrWiM v. 4. 10. 35 IV 17443/35	"	N	Wie lfd. Nr. 5 u. 7 und Röntgenprüfg.
16.	"	"	"	M I — M IV u. M I + II mit Mo ≤ 0,5%	"	"	RPrWiM v. 29. 11. 35 IV 22950/35 III 2690/35	"	"	$\sigma_{Naht} \geq 0,95 K_z Bl$ Fallversuch 180° VGB DVMR I + II 12 8 mkg III 10 6 mkg IV 8 5 mkg/cm ² Röntgenprüfung bei s > 45
17.	Preß- und Walzwerk AG..	"	"	M I	15—40	"	RPrWiM v. 24. 12. 35 IV 21978/35 III 10484/35	"	"	Wie lfd. Nr. 11 (Borsig)
18.	Mannesmann Huckingen	"	"	M I, II u. III	7—75	≤ 350°	RPrWiM v. 1. 2. 36 IV 28685/35	lfd.	N	$\sigma_{Naht} \geq 0,95 K_z Bl$ Fallversuch 180° VGB DVMR I + II 12 8 mkg III 10 6 mkg/cm ² Röntgenprüfung
19.	Bheinmetall Borsig AG. Berlin-Tegel ..	"	"	M I, II u. III	≤ 45	≤ 300°	RPrWiM v. 4. 8. 36 IV 19974/36 III 6478/36	"	"	Wie lfd. Nr. 18
20.	Deutsche Röhrenwerke AG., Werk Mülheim	"	"	norm. und leg. Stähle mit Mo = 0,25% u. Cu = 0,25% Marken St 41 " " 44 " Th 10 B " 10 R " 30 B " 30 R Sorten II, III	7—75	unbegrenzt	RPrWiM v. 16. 6. 36 IV 13516/36 III 4934/36	"	"	Röntgenprüfung bei s ≥ 40 mm sonst wie lfd. Nr. 14

				Werkstoff	Dicke mm	Wand- temp.	Erlaß bzw. Vereinbarung	Arbeits- prüfg.	Glüh.	Anforderungen
21.	Jul. Pintsch, Fürstenwalde ..	E	0,9	M III u. IV mit 0,5% Mo	unbe- grenzt	≤ 400° / I bis IV m. 0,5% Mo. u. M III + IV	RPrWiM v. 10. 11. 36 IV 31613/36 III 9730/36	lfd.	N	Wie lfd. Nr. 16
22.	MAN, Werk Augsburg	"	"	M I u. II	≤ 30	≤ 350°	RPrWiM v. 3.3.37 IV 818/37 III 1731	"	"	Wie lfd. Nr. 11
23.	Fried. Krupp AG., Essen s. lfd. Nr. 10	"	"	V2A, V4A korrosions- beständig	≥ 3	unbe- grenzt	RWiM v. 8. 2. 37 — IV 34258/36 —	lfd.	s. lfd. Nr. 10	$\sigma_{\text{Naht}} \geq 0,95 K_z B_l$ Fallversuch 180° Kerzbähigkeit 6 mkg/cm ² DVMR 10 " VGB
24.	Deutsche Edelstahlwerke AG. Krefeld ..	"	0,7	Remanit 1880 S und SS korrosions- beständig	"	"	RWiM v. 31.3.37 — IV 11123/37 —	f. jed. der 2 Werk- stoffe 3 Arb.- prüfg.	n. An- gabe d. Werk- stoff- her- stellers	gemäß besonderer An- weisung des RTÜV
25.	Deutsche Röhrenwerke AG., Werk Poensgen	"	"	Deutro 9 S und D 16 Sorten a u. b korrosions- beständig	"	"	RWiM v. 31.3.37 — IV 8195/37 —	f. jed. Werk- stoff- sorte u. -art 3 Arb.- prüfg.	bei 650°	Gemäß besonderer An- weisung des RTÜV
26.	Jul. Pintsch AG., Fürstenwalde	Durch Erlaß vom 21. 5. 1937 — IV 34383/37, III 5436/37 — werden in Abänderung der Bedingung 5 des Erlasses vom 29. 11. 35 (siehe lfd. Nr. 16) für die Arbeitsprüfung an Werkstücken aus Blechen Sorten I und II folgende Erleichterungen zugestanden: 1. Die Arbeitsprüfung wird auf 5% aller Stücke beschränkt; der zuständige Sachverständige hat in jedem Einzelfalle zu entscheiden, ob eine Arbeitsprüfung erforderlich ist. 2. Die Bleche für die Probeplatten brauchen nicht mehr aus den für das Werkstück bestimmten Blechtafeln, sondern können aus Blechen etwa gleicher Dicke wie das Werkstück entnommen werden.								
27.	Deutsche Röhrenwerke AG. s. lfd. Nr. 9 ..	W	0,9	M I u. M II Th 30 R III und IV	unbe- grenzt	unbe- grenzt	RWiM v. 19. 6. 37 IV 16165/37 III 64881/37	—	N	—
28.	Rheinmetall- Borsig AG., Berlin-Tegel (s. lfd. Nr. 19)	E	"	M IV	≤ 45	≤ 300°	RWiM v. 22. 6. 37 IV 16166/37 III 6503/37	lfd.	"	$\sigma_{\text{Naht}} \geq 0,95 K_z B_l$ Fallversuch 180° Kerzbähigkeit: 8 mkg/cm ² VGB 5 " DVMR Röntgenprüfung
29.	Fried. Krupp AG., Essen	"	"	Izeit IV	≤ 50	≤ 350°	RWiM v. 2. 7. 37 IV 16088/37 III 6929/37	"	"	Wie lfd. Nr. 28
30.	Deutsche Röhrenwerke AG., Werk Thyssen, Mülheim (R.)	Durch Erlaß vom 1. 9. 37 — IV 23498/37 III 9110/37 — wird die im Erlaß vom 16. 6. 36 (lfd. Nr. 20) unter Bedingung 2 festgelegte Beschränkung der Blechdicke auf höchstens 75 mm aufgehoben.								
31.	Gutehoffnungshütte Oberhausen AG., Werk Sterkrade	E	0,9	M I u. M II	10—40	≤ 350°	RWiM v. 2.11.37 IV 28945/37 III 11210/37	lfd.	N	$\sigma_{\text{Naht}} \geq 0,95 K_z B_l$ Fallversuch 180° Kerzbähigkeit: 8 mkg/cm ² DVMR 12 " VGB Röntgenprüfung Bearbeitung der Schweißnähte
32.	Humboldt-Deutz- motoren AG., Köln-Deutz	"	"	"	10—35	"	RWiM v. 2.11.37 IV 31024/37 III 11190/37	"	"	Wie lfd. Nr. 31
33.	Deutsche Röhren- werke AG., Werk Thyssen, Mülheim (Ruhr) (s. lfd. Nr. 20 und 30)	"	"	Cu-Ni-Stahl Marke Th 41 B Sorten III u. IV m. Cu=0,60 —0,90 % Ni=0,20 —0,50 %	unbe- grenzt	≤ 350°	RWiM v. 8.11.37 IV 31042/37 III 11309/37	"	Norm- glüh. und Stabil- glüh.	$\sigma_{\text{Naht}} \geq 0,95 K_z B_l$ Fallversuch 180° VGB DVMR III 10 6 mkg IV 8 51 cm ² Röntgenprüfung Bearbeitung der Schweißnähte

Tabelle 2: Zusammenstellung der Glühvorschriften für geschweißte Landdampfkessel

und die Güteanforderungen ersichtlich. Bemerkenswert ist, daß sämtliche Kesselblechsorten M I bis M IV, d. h. Kohlenstoffstähle von einer Festigkeit zwischen 35 bis 56 kg/mm² und einem Kohlenstoffgehalt von 0,10 bis 0,26% und Sonderstähle einwandfrei verschweißbar sind. Es ist zur Zeit verschiedenen Firmen Berechtigung erteilt, unbegrenzte Wandstärken zu verschweißen. Namhafte Schweißfirmen geben als obere Grenze für die wassergasüberlappte Verschweißung 70 bis 80 mm an.

Über die Glühbehandlung gibt die Tabelle 2 Auskunft, die keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Trommelbodenverschlüsse

Die im Dampfkesselbau zur Verwendung kommenden Trommeln sind in der Regel mit gekümpelten Böden versehen, die entweder ein Mannloch oder einen besonderen Verschluss erhalten. Die Verschlussstopfen werden in der Regel mit einer bestimmten Passung oder mit Gewinde eingesetzt und dann mit einer Dichtschweißung versehen, von denen einige Ausführungen in der Abb. 3 gezeigt sind. Bei der Verschweißung von Werkstoffen mit einem Kohlenstoffgehalt über 0,2% und vergüteten Werkstoffen sollten auf alle Fälle die im Bilde gezeigten, möglichst elastisch zu gestaltenden Entlastungsnuten vorgesehen werden; andernfalls droht die Gefahr der Schrumpfrißbildung. Bei sauberer Vorbereitung sind diese Schweißungen ohne Schwierigkeiten durchzuführen.

Sammlerbodenverschlüsse

Ähnlich werden die Sammlerbodenverschlüsse gestaltet. Ihrer kleineren Bauform und damit verbundenen geringeren spezifischen Belastung wegen sind sie einfacher in der Form. Bodenverschlüsse von Sammlern verschiedener Firmen sind in Abb. 4 dargestellt. Je nach Kesseldruck und spezifischer Belastung werden flache Böden verwendet oder die Sammler zugekümpelt. Die flachen Böden werden in der Regel mit Gewinde eingesetzt oder durch Herumholen der Kanten gegen Innendruck gesichert. Die Kümpellöcher werden bei niederen Drücken einfach mit Zusatzwerkstoff verschweißt, bei höheren Drücken mit gut passenden Gewindestopfen und Dichtschweißungen versehen. Auch findet man getrennt gepreßte Böden, die mit einer Rundnaht vorgeschweißt werden. Hier sind auch bei empfindlichen Werkstoffen Entlastungsnuten, die den Flanschschweißlippen nachgebildet sind, zu empfehlen.

Stützenanschlüsse an Trommeln, Verteilern und Sammlern

Weitere Dichtschweißungen an Trommeln, Verteilern und Sammlern findet man an Stützenanschlüssen, von denen

die Abb. 5 eine Reihe von Ausführungen zeigt. Die Ausführung a) ist für kleine Durchmesser und geringe Drücke zulässig. Die Ausführungen d), e) und f) werden mittleren Drücken genügen, während die Ausführungen b) und c) jedem Druck gewachsen sein werden. Es handelt sich hier jedoch, mit Ausnahme von c, um Dichtschweißungen, für die dieselben Regeln gelten wie für die Bodenverschlussschweißungen.

Rohranschlüsse an Sammlern und Verteilern

Bemerkenswerter sind bereits die Verschweißungen von Fall- und Steigrohren mit Sammlern und Verteilern. Sie bieten alle die Schwierigkeit der Verschweißung stark unterschiedlicher Wandstärken und verschiedener Werkstoffe. Es ist unterschiedlicher Wärmeabfluß bereits konstruktiv zu verhindern, wenn nicht Schrumpfrisse zu Undichtheiten führen sollen. Einige Bauformen sind in der Abb. 6 wiedergegeben. Die ungeschweißte Ausführung a) zeigt einen aus dem Vollen durch Verspannen herausgearbeiteten Sammler, dessen Rohrnippel die Verbindungsschweißung mit den Rohren erhalten. Der Rohrnippel muß lang genug sein, um zu große Wärmeabfuhr nach dem Sammler hin zu vermeiden. Eine nachträgliche Glühbehandlung der Schweißzone der sehr sperrigen Elemente aus Sammlern und Rohren macht das Vorhandensein besonders gestalteter Kopftöfen erforderlich. Um die große Verspannungsarbeit der Ausführung a) einzusparen, setzen andere Werke die Rohranschlußstücke direkt in gepreßte oder sonstwie nahtlos hergestellte Sammler. Die Ausführungen bieten den Vorteil der Verwendungsmöglichkeit normaler Preß- oder Walzteile mit von ihrem hohen Verschmiedungsgrad abhängigen günstigen Festigkeitseigenschaften. Die Form b) führt gut passende, aus Rohren hergestellte Enden mit Bund ein, walzt die Rohrenden leicht an und versieht Rohr und Sammler mit Dichtschweißungen. Die Ausführungen c), d) und e) sind ähnlich, nur daß statt des tragenden Bundes Gewinde verwendet wird. Die Ausführung d) ist ohne Zweifel besser durchkonstruiert, da die Dichtschweißung den Kerb der letzten Gewindegänge nicht überlagert. Man sollte die letzten Gewindegänge so weit nach unten verlegen, ähnlich wie bei der Flanschenausführung höherer Drücke, und die Dicht-

Normalglühen der Werkstücke im Ganzen (Glühen über A c 3)		Regelfall (B 4) *			Bei Ausbesserungsschweißungen entscheidet der Sachverständige, ob und inwieweit eine Glühbehandlung erforderlich. (E)
Normalglühen in Teilen		* Alle Angaben in den Klammern beziehen sich auf die betreffenden Abschnitte in den neuen Schweißvorschriften.			
Spannungsfrei-glühen im Ganzen bei 600—650 °		Bei außergewöhnlichen Abmessungen und besonderer Bauart im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen. Die letzten Verbindungsrundnähte müssen dann mittels Gasringbrenners oder dergl. möglichst von beiden Seiten zugleich normalgeglüht werden. (B 4)			
Schmelzgeschweißte Schüsse und Trommeln, wenn		Schmelzgeschweißte Schüsse und Trommeln, wenn			
Ungeglüht		1. Wertigkeit ≤ 0,7	2. zerstörungsfreie Prüfung jedes Werkstückes	3. einmaliger Nachweis ausreichender Verformungsfähigkeit	In besonderen Einzelfällen geringer Beanspruchung mit Einverständnis des Sachverständigen. (B 5 b)
1. p ≤ 8 atü		Ein- oder ange-schweißte kleine Kesselteile, wie kleine Stützen, ferner bei Rund-nähten an Wasserrohren Rauchrohren Überhitzerrohren (B 5 d II)			Feuerbüchsen Quersieder Feuerlochschweißungen schmelzgeschweißte Flammrohre (B 5 d III)
2. Kz ≤ 42 kg/mm ²					
3. σSchw ≤ 4,25'' (B 5 d I)					

Bearbeiter: Reichsverband der Technischen Überwachungs-Vereine e. V., Berlin-Grünwald

schweiße zwischen Konr und Sammler auf diese Weise von dem letzten Gewindegang entfernen. Die Ausführung f) wird geringeren Drücken genügen. Die Sammler erhalten zunächst kurze, etwa 300 mm lange Vorschweißenden, damit die spätere Verschweißung Rohr-an-Rohr leichter erfolgen kann und die erforderliche Wärmebehandlung eines nicht zu sperrigen Bauteiles erleichtert wird. Die schwierigen Rohr-an-Sammler-Schweißungen können alle in günstiger Schweißlage in der Werkstatt erledigt werden. Rohr-an-Rohr-Schweißungen sind später sowohl in der Werkstatt als auch auf der Montage leichter durchzuführen.

Rohrschweißverbindungen

Während die Durchführung der bisher genannten Schweißverbindungen kaum noch auf Schwierigkeiten stößt, ist das Verschweißen von Kesselrohren eine noch verschieden beurteilte Angelegenheit. Die Siederohre werden als Walzkörper angeliefert und besitzen naturgemäß die Abmessungen und Eigenschaften geschmiedeter Bauteile. So stehen an Rohren z. B. nach Abb. 7 von den Abmessungen $32 \times 3,5$ mm unter Ausnutzung der nach den Richtlinien für Wasser- und Ankerrohre der Werkstoffvorschriften für Landdampfkessel (LDK.) zugelassenen Abmaße bei Fluchten der Unterkante die Innenkante des Rohres 54% der Mindestwandstärke und bei Fluchten der Mittellinie noch annähernd 40% über. Ist nach Abb. 8 ein Rohr $32 \times 3,5$ mm auf $\pm 0,3$ mm nach den Abmaßen der Vereinigung der Großkesselbesitzer (VGB.) kalibriert, so stehen die Innenkanten im ungünstigsten Falle bei Fluchten der Unterkante 40%, bei Fluchten der Mittellinie etwa 30% über. Bei einem Rohr $63,5 \times 5,75$ mm (Abb. 9/10) ergaben sich ähnliche Verhältnisse. Bei einem nichtkalibrierten Rohr (Abb. 11) 320×20 mm steht bei Fluchten der Unterkante die obere Kante fast um die ganze Wandstärke, bei Fluchten der Mittellinie um 65% der dünnsten Wandstärke über. Die Maße verbessern sich nach Abb. 12 bei Kalibrierung auf $\pm 1\%$ des Außendurchmessers auf 70% bei Fluchten der Unterkante und über 50% bei Fluchten der Mittellinie. Aus diesen Werten ist ohne weiteres zu folgern, daß, um an den Schweißverbindungen versetzte Kanten und damit Übergangskerben und zusätzliche Biegebbeanspruchungen zu vermeiden, die Rohrenden einer einwandfreien Kalibrierung bedürfen. Noch stärker bemerkbar macht sich die Ausnutzung der vollen Abmaße bei Verwendung von Y-Nähten (Abb. 13). Man beabsichtigte eine Zentrierung der beiden Rohrenden, kommt aber selbst bei Fluchten der Mittellinien auf etwa 40% möglichen Überstand, so daß bei voller Ausnutzung der Abmaße der Zweck der Y-Zentrierung nicht mehr erreicht wird. Zu welchen ungünstigen Ergebnissen mangelhafte Kalibrierung kommen kann, zeigt Abb. 13 als ungünstigstes Beispiel.

Vorbereitung der Rohrenden

Es erhebt sich nun die Frage, auf welche Weise zweckmäßig die Kalibrierung stattfindet. Auf alle Fälle sollte die Maßverbesserung von innen heraus vorgenommen werden, damit die Innendurchmesser angenähert gleich sind. Die dann noch verbleibenden Abmaße durch Wandstärkenunterschiede liegen dann außen, sind übersehbar und können u. U. beim Bearbeiten der Schweißkanten einer besonderen Verbesserung unterzogen werden. Ein Kalibrieren des Innendurchmessers fordern z. B. gepilgerte Rohre, da ihre Ungleichheiten aus den Wandstärkeunterschieden (Pilgerschläge) durch den letzten Kratzzug nach innen verlegt sind. Eine Warmkalibrierung über $\pm 0,3$ mm genügt nach den vorausgegangenen Abbildungen

für eine gute Schweißvorbereitung nicht. Erfahrungsgemäß ist aber auf warmem Wege eine genauere Kalibrierung kaum zu erreichen. Es hat sich deshalb am zweckmäßigsten erwiesen, die Rohrmaße auf kaltem Wege zu verbessern. In Abb. 14 ist eine Kalibrierungsart von Rohrenden dargestellt. Das Verfahren ergibt selbst bei großen Durchmesser- und Wandstärkenabmaßen nach geringer Kaltverformung sanfte Übergänge und damit geringe zusätzliche Spannungen. Der Aufweitedorn wird bis zu der Stichmarke eingeschlagen. Die Rohrkanten sind formgerecht abzuarbeiten, gleich ob V- oder Y-Naht verwandt oder ob mit Einlegering geschweißt wird.

Das Verfahren ist sowohl in der Werkstatt als auf der Baustelle anzuwenden. Die Rohre sind an den Enden zunderfrei. Die Verwendung eines in den Konus passenden Einlegeringes ist einfach. Die Ringe lassen sich in der gewollten Form aus den Rohren mit einer einfachen Vorrichtung ausstechen. Stumpfe Enden kommen nur für Abschmelzschweißung in Frage.

Schweißverfahren

Abschmelzschweißung

Das Herstellen von Rohrrundnähten auf Abschmelzschweißmaschinen ist zu einer hohen Entwicklung gelangt. Es wird mit derselben Einspannung sowohl die Schweißverbindung hergestellt als auch anschließend bis über Ac_3 geglüht. Im Bezirke des rheinisch-westfälischen Industriegebietes sind Abschmelzschweißmaschinen für gerade Rohrstränge bis zu $10\,000\text{ mm}^2$ Schweißquerschnitt erfolgreich in Betrieb. Man geht bis zu Rohraußendurchmessern von 180 mm. Abb. 15a zeigt eine automatisch hergestellte Abschmelzschweißung mit belassenem Innen- und Außenbart. Das Gefüge ist bis zu der etwas entkohlten, in Schmelzfluß gewesenen Nahtzone (Abb. 15b) fast unverändert. Schlacken und verbrannte Teile werden kaum beobachtet, sie sind durch angemessenen Anpreßdruck ausgetrieben. Die Verbindung ist als einwandfrei zu bezeichnen. Der Innenbart wird durch Stößel besonderer Form in glühendem Zustande ausgestoßen. Es bleibt jedoch meistens ein in der ersten Stoßrichtung umgelegter Bartrest zurück. Diesen Bartrest bis auf ein Mindestmaß zurückzuführen, ist erstrebenswert, da sich loslösende spröde Teile durch das strömende Medium mitgerissen werden und bei den hohen Geschwindigkeiten in der Turbine Unheil anrichten können. Der äußere Bart wird mit Handwerkzeug abgenommen. Man sollte jedoch einen geringen Rest stehenlassen, um die Nahtstelle äußerlich erkennen zu können. Abb. 15c zeigt eine auf genannte Weise hergestellte Schweißverbindung, bei der an der Unterkante der Innenbartrest sichtbar ist. Bei der Verschmelzung selbsthärtender Stähle ist Vorsicht geboten. Die für den Grundwerkstoff erforderliche Glüh- und Anlaßbehandlung ist auch für die gesamte Schweißverbindung durchzuführen. Eine sorgfältige Dichtheitsprüfung ist erforderlich, da bei den heute üblichen Drücken durch undichte Stellen austretende Wasserstrahlen Nachbarrohre in wenigen Minuten abblasen. Jedoch gilt dieses für alle Schweißarten.

Autogene Schmelzschweißung

Die autogene Schmelzschweißung wird vor allem bei kleineren Rohrdurchmessern bis etwa 100 mm Rohrdurchmesser, jedoch auch darüber angewandt. Für die Handhabung der Flamme gelten die Grundsätze des Autogenschweißens. Über 15 mm Wandstärke sollte man vor allem bei höhergeköhlten und legierten Stählen anwärmen, um Schrumpfrisse zu vermeiden. Der Zusatzwerkstoff ist dem Grundwerkstoff anzu-

passen. Bei höher gekohltem Grundwerkstoff kann der niedriger gekohlte Zusatzwerkstoff von Nutzen sein, um eine Martensitbildung einzuschränken. Besondere Vorsicht ist beim Heften der Schweißstellen zu beobachten. Oft reißen die Heftstellen beim Legen der ersten Schweißlage wieder auf und erscheinen als zurückbleibende Schrumpfrisse, die bei dünneren Wandstärken Ausgangspunkt von Dauerbrüchen werden können. Die erste Lage sollte nicht zu dünn gelegt werden, damit beim Legen der zweiten Lage genügend Material für die Aufnahme der Spannungen vorhanden ist. Glühbehandlung wie oben.

Elektrische Schmelzschweißung

Die elektrische Schmelzschweißung wird weniger bei kleinen Durchmessern, mehr bei Durchmessern über 100 mm und bei Wandstärken über 10 mm angewandt. Es gelten die für Elektroschmelzschweißung bekannten Regeln. Besondere Vorsicht ist, wie auch bei der Autogenschmelzschweißung, bei einer Verschmelzung von höher gekohlten und höher legierten, insbesondere den hitze- und zunderbeständigen Stählen zu beobachten. Bei beiden Schweißarten sind zweckmäßig die röhrenherstellenden Firmen über Zusatzwerkstoff, Elektroden, Schweißeinrichtungen und Warmbehandlung zu befragen.

Es ist zu empfehlen, beim Verschweißen von unbekanntem Werkstoffen Versuche vorauszuschicken, die dem Schweißer selbst und auch dem verantwortlichen Sachverständigen nachweisen, ob unter den gegebenen Bedingungen und dem Ausbildungsstand der Schweißer der Werkstoff verschweißbar ist. Bekanntlich ist es mit zerstörungsfreien Prüfverfahren nicht möglich, kleine Fehler, die im Kesselbau leicht den Anlaß zu weiteren Brüchen geben können, zu erkennen. Da die unter Spannung stehenden Schweißungen von Kesselwasser benetzt sind, wird die Wechselfestigkeit der Werkstoffe im Kesselbetriebe herabgesetzt.

Schweißen mit Einlegeringen

Die Frage der Benutzung von Einlegeringen als Mittel zur Erzielung besserer Schweißen ist umstritten. Der Kesselbetrieb führt als Gründe gegen die Verwendung von Ringen die Möglichkeit der Dampfblasenbildung, Dampfspaltung und darauf folgende ringförmige Anfrassungen hinter den nichtverschweißten Ringlappen an. Auswirkungen von derartigen Anfrassungen auf Grund von Dampfspaltung konnten jedoch bisher nicht beobachtet werden, weder unter doppelten Blechlagen selbst bei großem Wärmeangebot, z. B. in Rundnähten von Flammrohrschüssen, obwohl Verbrennungserscheinungen im Werkstoff festgestellt wurden, noch unter nach der Innenhaut zu offenen Doppelungen (Walzfehler). Viele solcher Fälle wurden einer eingehenden Schadensuntersuchung unterzogen. Ferner befürchtet man die Herauslösung von Ringen und Ringteilen und daraus Gefahr der Zerstörung an Turbinenteilen. Auch diese Befürchtung wird nicht geteilt, wenn die Ringe mit der oben beschriebenen genauen Passung hergestellt sind. Ein Zerfall der Ringe ist nach den gemachten Erfahrungen unwahrscheinlich. Es wird sich ein pulverförmiges, mechanisch ungefährliches Korrosionsprodukt bilden. Die Verwendung von Ringen bietet jedoch demgegenüber eine Reihe schweißherstellungstechnischer Vorteile. Die Arbeiten sind bei richtiger, werkstattmäßiger Vorbereitung kaum größer als bei V-Naht-Vorbereitung. Der Schweißer legt seine ersten Lagen mit fast absoluter Sicherheit und erzielt ein gleichmäßiges leichtes Durchschweißen in allen Zwanoslagen in der Werkstatt sowohl als auf der Baustelle, selbst an

dünnen Rohren mit geringen Durchmessern, bei höher gekohlten und höher legierten Stählen werden bei Verwendung von Einlegeringen Schrumpfrisse leichter vermieden. Ferner braucht bei richtiger Ausgestaltung des Ringes der Querschnitt des stehenbleibenden Ringteiles nicht größer zu werden als z. B. der Rest des Innenbartes bei elektrischer Abschmelzschweißung. Er hat dafür glatte beherrschte Ringinnenform. Die mechanischen und technologischen Proben solcher Schweißungen haben einen gleichmäßigen, guten Ausfall. Die Wechselfestigkeit der Verbindung liegt jedoch eine Kleinigkeit tiefer. Abb. 16 zeigt die Entwicklung der Ringform, Abb. 16a einen schwach konischen Ring guter Passung mit zu großer Breite. Auch Abb. 16b läßt erkennen, daß die Breite des Ringes noch verringert werden kann, wie in Abb. 16c und 16d zu sehen. Es kann wohl angenommen werden, daß die erwähnten Befürchtungen des Kesselbetriebes für die Ausführungen c und d, die bei den Dürrwerken AG., Ratingen-Ost, und den Mannesmannröhren-Werken AG., Witten, bereits eingeführt sind, weniger zutreffen als die Formen der Abschmelzschweißung.

Schweißfehler

An Hand einiger praktischer Beispiele soll auf verschiedene Schweißfehler aufmerksam gemacht werden. Abb. 17b zeigt die Schweißverbindung eines Sammlernippels nach Abb. 6a mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,35% mit einem molybdänlegierten Rohr Th 30. Abb. 17a zeigt die erzielte Schweißung, die etwa 8 Jahre im Betriebe war. Die Schweißung ist ungeglüht und zeigt das typische grobe Korn. Der Grundkerb der Y-Schweißung ist stehengeblieben und hat sich aufgezerrt. Senkrecht vom Kerbgrund geht ein Schrumpfriß aus, der wahrscheinlich beim Aufbringen der ersten Lage durch zu hohen Wärmeabfluß in Richtung des Sammlers entstanden ist. Eine mikroskopische Untersuchung ergab neben dem Schrumpfriß mangelhafte Bindungen und dauerbruchartige Erweiterungen in Fortsetzung des Schrumpfrisses durch die Bindefehler. Abb. 17c zeigt das Ergebnis mangelhafter Kalibrierung. Die Fehler von Abb. 17a und 17c erklären sich aus der vorausgegangenen Abb. 13. Bei späteren Versuchen der autogenen Verschweißung von Kohlenstoffstahl-Verteilerkasten nach Abb. 6a mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,3 und 0,4% mit molybdänlegierten Rohrenden traten ähnliche Schweißschrumpfrisse auf. Sie sind in Abb. 18a gezeigt und konnten vermieden werden bei Schweißung über Einlegering (Abb. 18b) bei einer Vorwärmung der Schweißzone auf 800°. Die Sammler mit den Rohrenden wurden nach dem Schweißen normalisiert. Bei Verschweißung bei 200° traten trotz Verwendung der Ringe noch Schrumpfrisse auf (siehe Abb. 18c). Die Ringe wurden, da nur kurze Rohrenden (Rohrende-an-Sammler) aufgeschweißt wurden, herausgearbeitet. Bei Durchfluten der geschliffenen Schweißnähte im Innern wurde keinerlei Rißbildung festgestellt. Es wurde jedoch aus Sicherheitsgründen der Entschluß gefaßt, die Grenze des Kohlenstoffgehaltes auf 0,25% festzulegen. Auch bewährte sich in diesem Falle die bereits oben erwähnte Verwendung niedriger gekohlter Zusatzdrähte. Rohrende-an-Rohr-Schweißung erfolgte auf der Baustelle.

Abb. 19 zeigt links eine unzureichende Form des Einlegeringes, bei der erfahrungsgemäß die Ringnahe mangelhaft verschweißt wird. Bei Veränderung auf Ringform rechts wurden gute Ergebnisse erzielt. Die Abb. 20 zeigt links eine mangelhaft vorbereitete V-Form, die zu schlechter Durchschweißung führte. Der Kerb über dem groben ungeglühten Korn ist in

seiner Auswirkung auf die Wachstumsgeschwindigkeit zu fürchten. Abb. 20 rechts zeigt das Ergebnis nach genügender Schweißvorbereitung und Glühung auf.

Wärmebehandlung der Schweißverbindungen

Die Wärmebehandlung hat sich nach dem Grundwerkstoff und dem Zusatzwerkstoff zu richten. Da die Kesselbauwerkstoffe in ihrer Zusammensetzung stark verschieden sind und für hohe Temperaturen selbsthärtende Stähle Verwendung finden müssen, kann eine Regel für die Wärmebehandlung nicht angegeben werden. Die Vorschriften fordern in der Regel ein normalisierendes Glühen (siehe Tabelle 2). Jedoch ist für Schweißverbindungen an Werkstoffen, die als Grundwerkstoff eine Anlaßbehandlung erhalten, ein nachheriges Vergüten erforderlich. Die Glüh- und Anlaßtemperaturen und -zeiten sollten stets im Einverständnis mit dem Werkstoffhersteller festgelegt werden. Die Analysen müssen bekannt sein. Abb. 21 zeigt ein Beispiel des chrom-molybdän-silizium-legierten Stahles CS 65. Es wurde zunächst versucht, mit einer Einfachglühung 30 Min. bei 750° auszukommen. Das Ergebnis war jedoch ein martensitisch-sorbitisches Härtingsgefüge. Eine Doppelglühung 15 Min. bei 890° und 30 Min. bei 650° ergab ein normales Übergangsgefüge. Es soll dies jedoch lediglich ein Beispiel dafür sein, daß zum einwandfreien Beherrschen Versuche für die Bestimmung der Temperaturen und Zeiten erforderlich sind und auf keinen Fall eine allgemein gültige Anweisung für die Glühung von CS-65-Schweißungen sein. Ein Beispiel für die planmäßige Einrichtung von Schweißarbeiten soll der Schweißplan, Tabelle 3, darstellen, der von Werkstoff- und Schweißkundigen aufzustellen ist. Er behandelt hier die Rohran-Rohr- und Sammler-an-Rohr-Schweißungen eines Benson-Kessels. Die Abstimmung von Grund- und Zusatzwerkstoffen ist wichtig, die Festlegung der Wärmebehandlung erfolgt nach Werkserfahrung oder Versuchen. Der Plan muß den Schweißern verbindlich gemacht werden, damit ein Kessel mit Tausenden von

Schweißstellen eine zuverlässige Betriebseinrichtung ist. Es lohnt, einige Mehrkosten in die Fertigungsüberwachung²⁾ zu stecken, als die Kosten unvorhergesehener Stillsetzungen, die bei Einheiten von 100 Tonnen Dampf je Stunde³⁾ recht unangenehm werden können, in Kauf nehmen zu müssen.

Stahlgußschweißungen

Parallel mit der Entwicklung höher legierter Überhitzerbaustoffe lief die hoch beanspruchbarer Stahlgußausrüstungsteile. Es ist bei der Verschiedenartigkeit der Wandungen kaum möglich, dichten Stahlguß abzugießen. Man kann jedoch durch Elektro- und Gas-schmelzschweißung die Stücke betriebssicher gestalten. Je nach Umfang der Ausbesserungsarbeiten wird auch hier eine Wärmenachbehandlung erforderlich werden, die mit Sicherheit nur angesetzt werden kann, wenn die Bestandteile der Schmelzen einwandfrei bekannt sind. Eine Beurteilung der Ausbesserungsschweißung ist nur möglich, wenn der Umfang der Lunker- und Rißschäden durch Besichtigung nach dem Auskreuzen festgestellt wird. Hierbei haben sich in kritischen Fällen Röntgen- und Feilspäneverfahren bewährt.

Ausbesserungsschweißungen

Die Ausbesserungsschweißungen im Rahmen dieser Abhandlung zu bringen, wird nicht für angebracht angesehen. Holzauer⁴⁾ hat im Jahre 1938 hierzu eingehend Stellung genommen.

Zusammenfassung

Für Dampfkesselschweißungen und die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern sind von der Sicherheitsbehörde besondere Vorschriften erlassen, die sich

¹⁾ Oberlsg. Dipl.-Ing. H. Stehr VDI, Essen: Fragen aus Werkstoffprüfung und Bauüberwachung. „Wärme“, 61. Jahrgang, Nr. 45, vom 5. 11. 1938.

²⁾ Oberlsg. Dipl.-Ing. H. Stehr VDI, Essen: Der Sulzer-Einrohr-Zwangsdurchlauf-Kessel. „Wärme“, 62. Jahrgang, Nr. 1, vom 7. 1. 1939.

⁴⁾ Dr.-Ing. Holzauer VDI, Düsseldorf: Beispiele von Ausbesserungsschweißungen an Dampfkesselteilen. „Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen“, Band 19, Heft 1, 3 und 5, März 1938.

Tabelle 3: Schweißplan für eine Benson-Kesselanlage

Kesselteil	Werkstoff		Wärmebehandlung														
	Kasten	Rohr	Zusatzdraht	Schweißart	Einlege-ring	Anwärmen auf °C	Rohr-art	Glüh-Temp. °C	Dauer min	Abkühlungs-Art	Zeit min	Temp. °C	Anlaß-Temp. °C	Dauer min	Abkühlungs-Art	Zeit min	
Vorwärmer	M IV	St 45.29	GV 3	A	ja	200	St. R.	900	20	Luft	—	—	—	—	—	—	
			GV 3	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Übergangsteil	Ezu/Mo	Marwe 12 P	Th 31	A	ja	200	St. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
			Th 31	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Strahlungs-Überhitzer	Rückwand																
	Seitenwand	HLKw spez.	Marwe 17 L	FK 335	A	ja	200	St. R.	920	60	Luft	30	500	700	60	Luft	—
				FK 335	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Vorderwand u. Decke	CS 65	CS 65	CS 65	A	ja	200	St. R.	920	30	Luft	schn.	450	720	30	Luft	—
CS 65				A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Strahlungs-teil	Rückwand	Ezu/Mo	Marwe 12 P	Th 31	A	ja	200	St. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Th 31	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Seitenwand	"	"	Th 31	A	ja	200	St. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Th 31	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Vorderwand	"	"	Th 31	A	ja	200	St. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Th 31	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Decke	"	"	Th 31	A	ja	200	St. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	
				Th 31	A	ja	200	F. R.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Werkstoff (Kästen u. Rohre)			Festigkeits			C-Gehalt		Zusatzdraht		Legierung		C-Gehalt					
M IV		C-Stahl		48—56 kg/mm ²		0,22—0,26 %		GV 3		Mn-Ni		0,16—0,18 %					
St 45.29		C-Stahl		45—55 "		0,22—0,28 %		Th 31		Cu-Mo		0,12—0,15 %					
Ezu/Mo		Cu-Mo-Stahl		43—53 "		0,15—0,20 %		Fk 335		Cr-Mo		0,10—0,15 %					
Marwe 12 P		Cu-Mo-Stahl		45—55 "		0,10—0,12 %		CS 65		Si-Cr-Mo		0,10—0,12 %					
HLKw spez.		Cr-Mo-Stahl		45—60 "		0,13—0,19 %											
Marwe 12 P		Cr-Mo-Stahl		45—55 "		0,13—0,20 %											
CS 65		Si-Cr-Mo-Stahl		45—55 "		0,10—0,12 %											

A = autogene Schmelzschweißung, St. R. = Steigrohr, F. R. = Fallrohr, schn. = schnell

u. a. mit der Bauart, der Ausführung, der Zulassung der Werke und der Werkstoffe sowie der Einschaltung von Sachverständigen der Technischen Überwachungsstellen befassen.

Wassergasüberlapfte, autogene und elektrisch geschweißte Rund- und Längsnähte von Schüssen und Trommeln werden bis zu einer Güteziffer von v bis 0,9 einwandfrei verschweißt. Die Zulassung von Schweißungen für Bewertungen oberhalb $v = 0,7$ ist von Prüfungen der Überwachungsstellen abhängig und bedingt die Durchführung von besonderen Arbeitsprüfungen an jedem Stück. Besonders geprüfte Firmen werden an Hand einer vom Reichsverband der Technischen Überwachungsvereine zusammengestellten Tabelle besprochen.

Ausführungsbeispiele der kesselherstellenden Industrie zeigen Schweißungen an Trommelboden- und Sammlerbodenverschlüssen sowie Stutzen- und Rohrschlüssen.

An Hand von Skizzen wird nachgewiesen, daß Rohrenden in den normalen Abmaßen zu hoch liegen, um einwandfreie Verschweißungen zu ergeben. Kalibrierung ist erforderlich. Die Frage, ob Einlegeringe zu verwenden oder die Rohre stumpf oder v-förmig gegeneinander zu verschweißen sind, ist umstritten. Der Kesselbetrieb befürchtet Korrosionen nach Dampfspaltung hinter den freien Lappen von Einlegeringen. Der Verfasser teilt diese Befürchtungen nicht, da sie

bisher in ähnlich gelagerten Fällen nicht beobachtet wurden. Die Frage der Schweißform und des Schweißverfahrens sollte nach vorausgeschickten Versuchen entschieden werden. Während das Verschweißen stumpfer Rohrenden gegeneinander ohne Kerb geschehen kann, verbleibt bei der Verwendung von Einlegeringen stets eine Kerbe, die bei Dauerbeanspruchung zu geringen Spannungserhöhungen und u. U. auch zur Einleitung von Dauerbrüchen führen kann. Es ist jedoch nicht zu verkennen, daß das Schweißen in Zwangslage und auf der Baustelle ohne Einlegering eine Kunst ist, die von wenigen Schweißern beherrscht wird. Der Verfasser vertritt deshalb den Standpunkt, auf die u. U. erreichbare optimale Form zu verzichten unter bewußter Inkaufnahme geringer Mängel.

An Hand von Lichtbildern werden einige aus falscher Schweißform und unsachgemäßem Verfahren herrührende Schweißfehler erläutert. Die Wärmebehandlung ist durch Vorschriften geregelt. Genauere Daten über Glühzeit und Behandlungstemperatur sollten stets mit einem Werkstoffsachverständigen im Einvernehmen mit dem Rohrherstellerwerk festgelegt werden.

Verbindungsschweißungen zwischen Stahlguß- und Flußstahlteilen auch legierter Werkstoffe sind bei Berücksichtigung der Werkstoffart einwandfrei durchzuführen. Ausbesserungsschweißungen an Stahlgußstücken sowie solche an Kesselteilen überhaupt sind von Fall zu Fall zu beurteilen.

Gußeisenschweißen im Maschinenbau^{*)}

Von Prof. Dr.-Ing. G. Kritzler, Technische Hochschule, Braunschweig

1. Die Verfahren zum Schweißen von Gußeisen

Bei der vorliegenden Betrachtung ist unter Gußeisen die Eisenkohlenstofflegierung mit über 1,7% C zu verstehen, die als Ge 12.91 bis Ge 26.91 im DIN-Blatt 1691 gekennzeichnet ist. Es handelt sich also um ein Gußeisen von einem Kohlenstoffgehalt zwischen 3 und 3½%, von dem bis etwa 0,7% je nach der Güteklasse als gebundene Kohle vorliegt. Die übrige Kohle ist mehr oder weniger fein verteilt, als Graphit ausgeschieden und unterbricht somit stellenweise den metallischen Zusammenhalt des Gefüges. Je nach der Menge des ausgeschiedenen Graphits, je nach Art der Graphitverteilung, sind die mechanischen Eigenschaften verschieden und dem Verwendungszweck entsprechend anzupassen. Ueber die maximale Festigkeit, die in den DIN-Normen angegeben ist, wird heute planmäßig Grauguß auch mit Festigkeitseigenschaften bis zu 32 kg/mm² hergestellt. Die Schwierigkeiten, die sich bei der Gußeisenschweißung ergeben, haben dazu geführt, daß sie im allgemeinen nur auf Ausbesserungsarbeiten beschränkt bleibt. Es ist bisher nicht möglich, Gußeisen als Konstruktionswerkstoff für schweißtechnische Verbindungen anzuwenden. Die wesentlichsten Gründe hierfür sind folgende:

Gußeisen ist ein Werkstoff, der Spannungen kaum durch Formänderungen ausgleichen kann. Beim Zugversuch ergeben sich kaum meßbare Dehnungen, die im Höchsthalle nur 0,5% betragen. Die Zugfestigkeit ist durchschnittlich nur ¼ der Druckfestigkeit. Daher ergibt sich für das Schweißen die Forderung, daß auftretende Spannungen möglichst nicht als Zugspannungen, sondern als Druckspannungen zur Auswirkung kommen sollen. Wird ein eingespannter Stab an einer

beliebigen Stelle erwärmt, so will der Werkstoff sich dort ausdehnen. Hieran wird er durch den nicht erwärmten umgebenden Werkstoff gehindert. Es entstehen große Druckspannungen. Bei der Überschreitung von 300° tritt an der erwärmten Stelle der erste beobachtbare Kriechvorgang des Werkstoffes ein. Infolge der großen Widerstandsfähigkeit des Gußeisens gegen Druck wird bis dahin und auch bei weiterer Erwärmung dieser Stelle keine zerstörende Wirkung für den Stab eintreten. Unterbricht man nunmehr die Wärmezufuhr und läßt man die Stelle an der Luft abkühlen, so wird der Werkstoff bis zu einer Temperatur von 400° herunter keine bleibenden Spannungen durch die Schrumpfung aufnehmen, da er bis zu diesem Temperaturbereich die auftretenden Spannungen durch Formänderungen, im vorliegenden Falle also durch Längung, ausgleicht.

Bei weiterer Abkühlung kann der Werkstoff den Spannungen nur noch beschränkt nachgeben. Von 300° an treten überhaupt keine Verformungen mehr ein, so daß sich die Schrumpfungen nur noch als innere Spannungen auswirken können.

Berechnet man diese Spannung

$$\sigma = \alpha \cdot E \cdot t,$$

so ergeben sich für ein Gußeisen Ge 22.91 folgende Werte:

Wärmeausdehnungskoeffizient

$$\alpha = 9,3 \cdot 10^{-6}$$

Elastizitätsmodul

$$E = 10\,000 \text{ kg/mm}^2$$

Temperatur

$$t = 300^\circ$$

$$\sigma = 9,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10\,000 \cdot 300$$

$$\sigma = 28 \text{ kg/mm}^2$$

^{*)} Abb. des Verfassers.

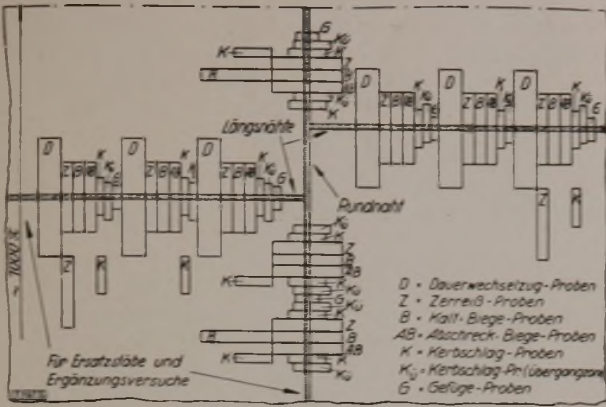


Abb. 1: Anordnung der Proben in einem Probeschuß zur Verfahrensprüfung. Bearbeiter: K. Vigenor, VDI, Berlin: „Neue Vorschriften für geschweißte Dampfkessel“. Z. VDI, Bd. 80, Nr. 40 vom 30. 10. 36.



Abb. 2: Kesselschuh mit Probeblechen für die amtliche Arbeitsprüfung

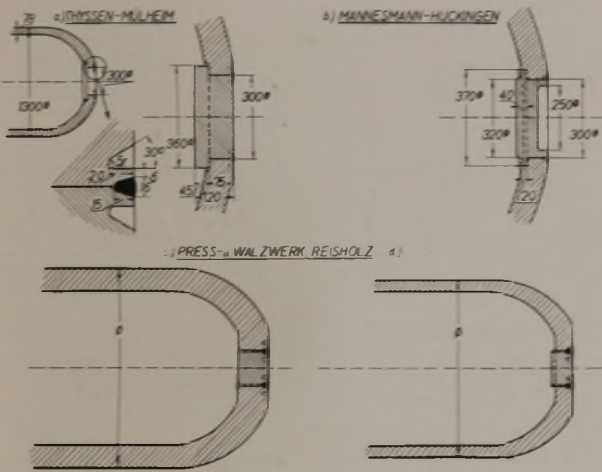


Abb. 3: Bodenverschlüsse von Trommeln verschiedener Firmen

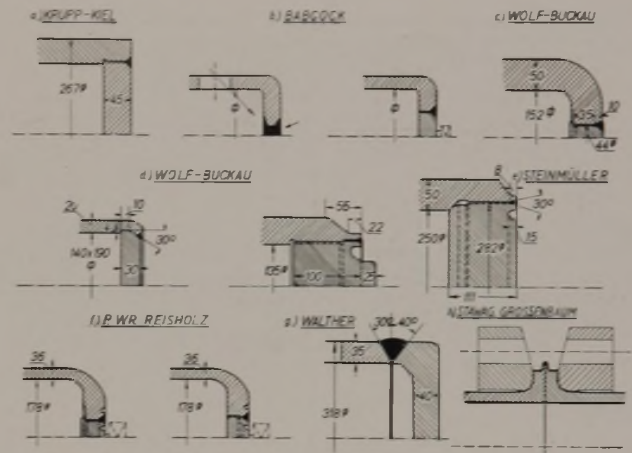


Abb. 4: Bodenverschlüsse von Sammlern verschiedener Firmen

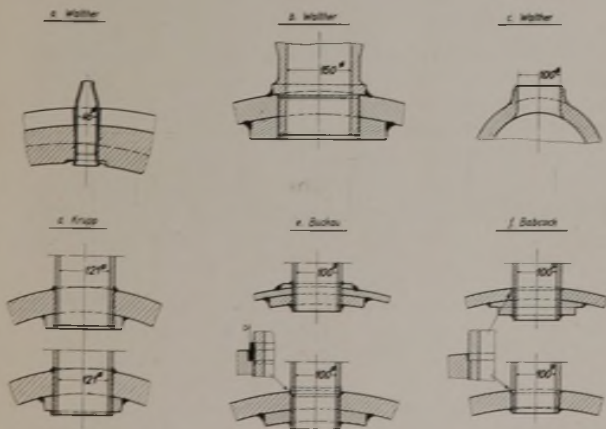


Abb. 5: Stützenanschlüsse an Trommeln und Sammlern verschiedener Firmen

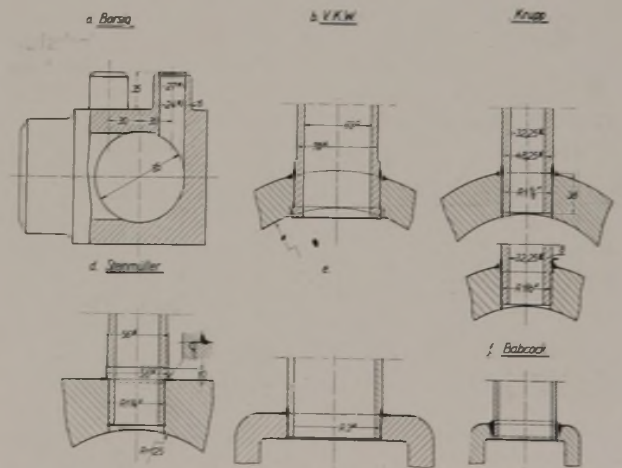
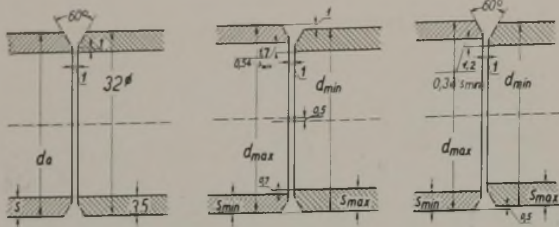


Abb. 6: Gestaltung von Anschweißenden verschiedener Firmen



a) Nennmaße

$d_a = 32,0$
 $s = 3,5$

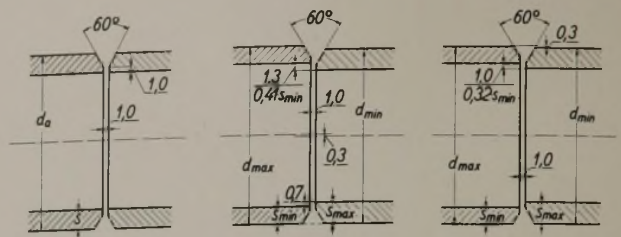
Alle Maße in mm

b) Unterkante fluchtend c) Mittellinien fluchtend

$d_a = 32,0 \pm 0,5 = 31,5 / 32,5$
 $s = 3,5 \pm 10\% = 3,15 / 3,85$

Nach L.D.K.

Abb. 7: Fassung von Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße



a) Nennmaße

$d_a = 32,00$
 $s = 3,50$

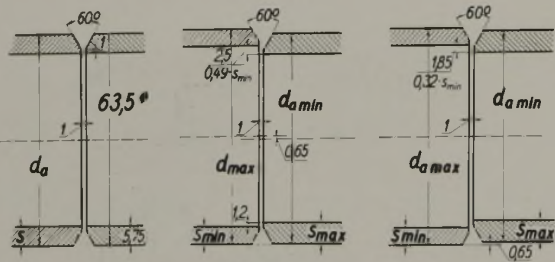
Alle Maße in mm
 nach V.G.B.

b) Unterkante fluchtend

$d_a = 32,00 \pm 0,30 = 31,70 / 32,30$
 $s = 3,50 \pm 10\% = 3,15 / 3,85$

c) Mittellinien fluchtend

Abb. 8: Passungen von kalibrierten Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße



a) Nennmaße

$d_a = 63,50$
 $s = 5,75$

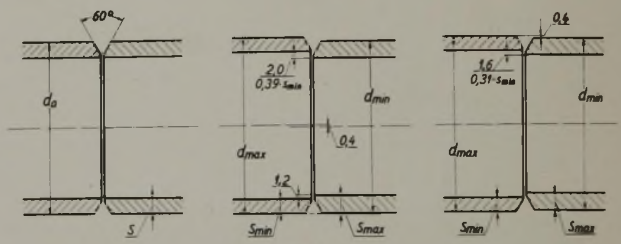
Alle Maße in mm

Nach L.D.K.

b) Unterkanten fluchtend c) Mittellinien fluchtend

$d_a = 63,50 \pm 1\% = 63,50 \pm 0,65 = 62,85 / 64,15$
 $s = 5,75 \pm 10\% = 5,75 \pm 0,60 = 5,15 / 6,35$

Abb. 9: Fassung von Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße



a) Nennmaße

$d_a = 63,50$
 $s = 5,75$

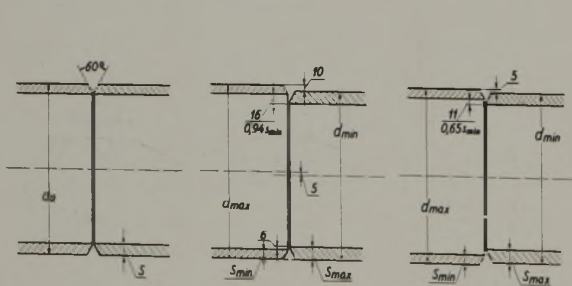
Alle Maße in mm

b) Unterkante fluchtend

$d_a = 63,50 \pm 0,40 = 63,10 / 63,10$
 $s = 5,75 \pm 10\% = 6,35 / 5,15$

c) Mittellinien fluchtend

Abb. 10: Passungen von kalibrierten Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße



a) Nennmaße

$d_a = 320$
 $s = 20$

Alle Maße in mm

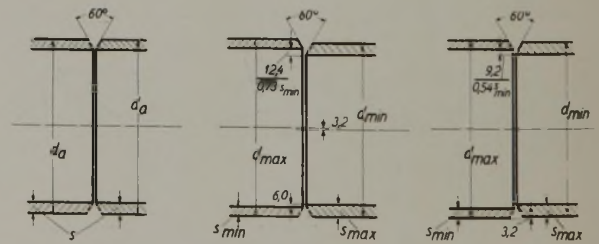
b) Unterkanten fluchtend

$d_a = 320 \pm 1,5\% = 315 / 325$
 $s = 20 \pm 15\% = 17 / 23$

nach L.D.K.

c) Mittellinien fluchtend

Abb. 11: Passungen von Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße



a) Nennmaße

$d_a = 320$
 $s = 20$

Alle Maße in mm

b) Unterkante fluchtend

$d_a = 320 \pm 1\% = 323,2 / 316,8$
 $s = 20 \pm 15\% = 23 / 17$

Nach V.G.B.

c) Mittellinie fluchtend

Abb. 12: Passungen von kalibrierten Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße

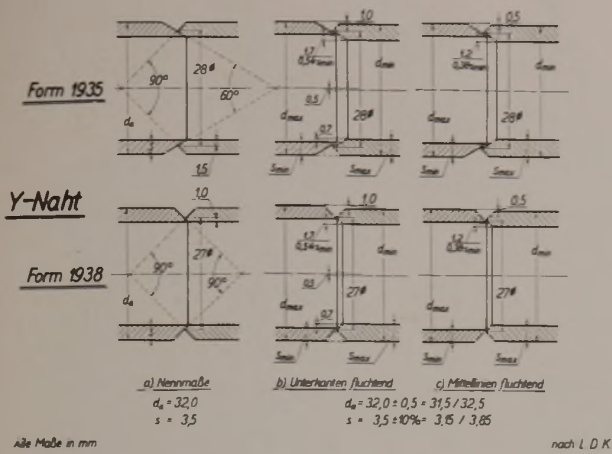


Abb. 13: Passungen von Rohrenden mit Berücksichtigung der Abmaße

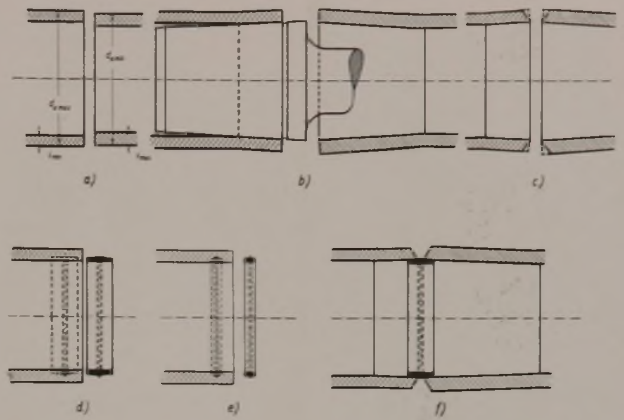


Abb. 14: Vorbereitung der Rohrenden zur Schweißung mit Einlegerringen

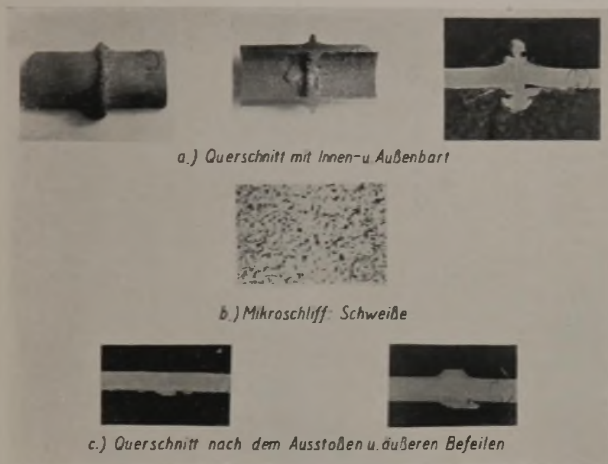


Abb. 15: Elektrische Abschmelzschweißung

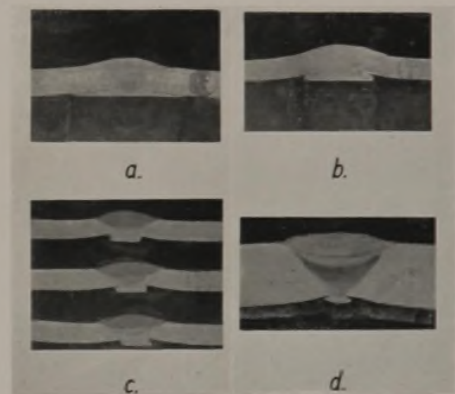


Abb. 16: Autogene Rohrschweißungen mit verschiedenen Einlegerringformen

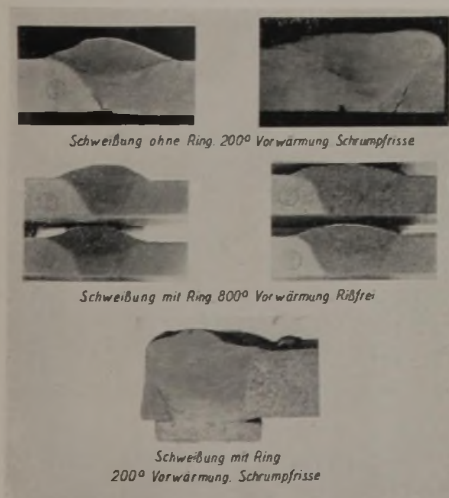


Abb. 18: Autogene Sammler- an Rohrschweißung

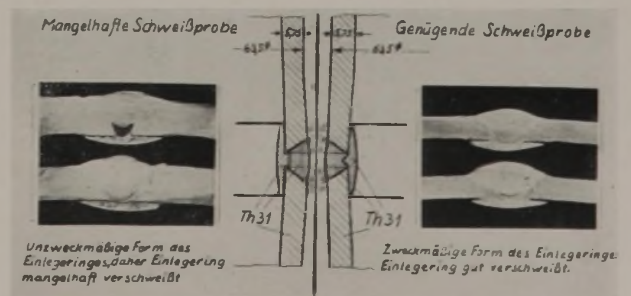
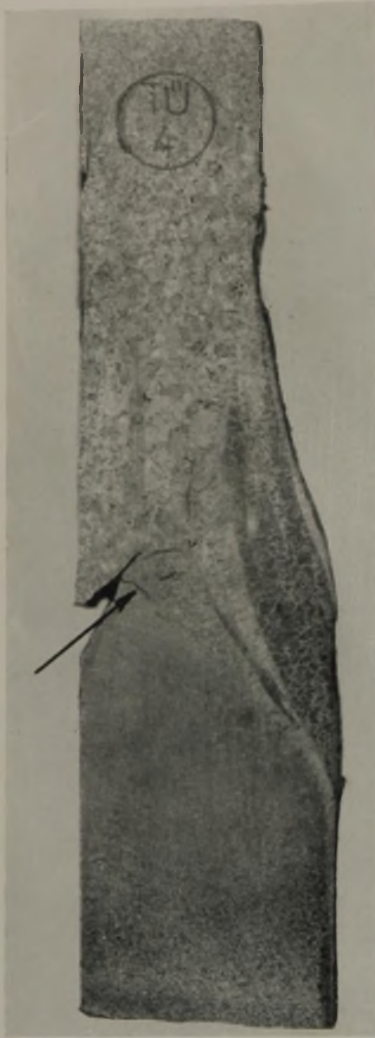


Abb. 19: Schweißentwicklung eines Rohres 63,5X5,75 mm aus Th 31 mit Einlegering



a) Schliff durch ungeglühte Schweißung. Unverschweißter Kern, Schrumpfrisse

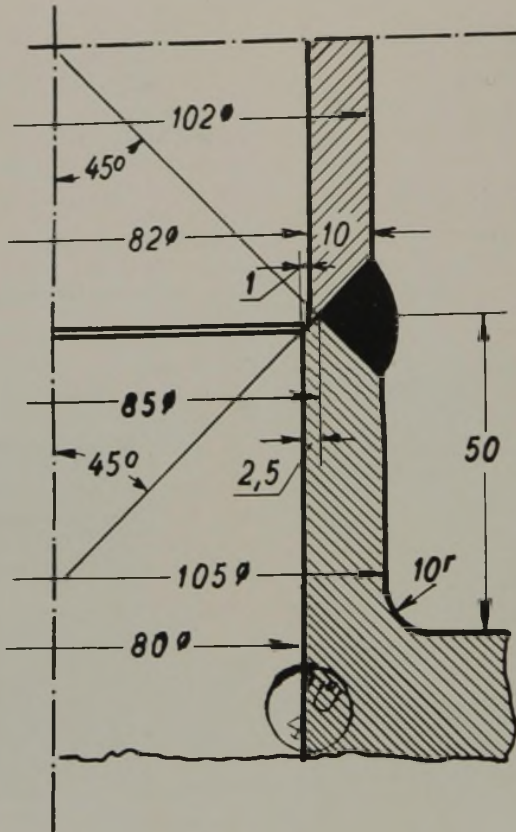


Abb. 17: Autogene Y-Sammler-an Rohrschweißung
b) Skizze mit Abmessungen



c) Nicht kalibrierte Rohrenden, Bindefehler

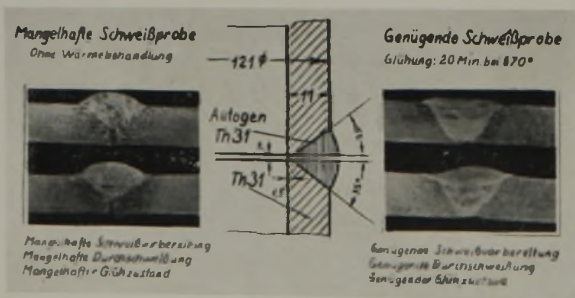


Abb. 20: Schweißentwicklung eines Rohres 121x11 mm aus Th 31 ohne Einlegering

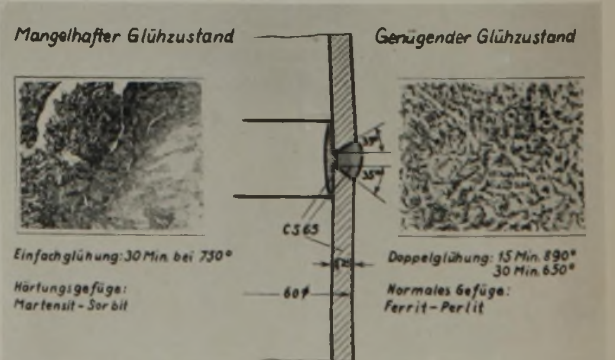


Abb. 21: Schweißentwicklung eines Rohres 60x5,25 mm aus CS 65 mit Einlegering

Es zeigt sich also, daß die auftretende Spannung um mehr als 25% die Bruchlast des Werkstoffes überschreitet. Da Gußeisen keine Streckgrenze hat, von der ab auftretende Spannungen durch bleibende Formänderungen ausgeglichen werden, entstehen demnach bei vollkommen fester Einspannung fast immer Risse. Es ist daher notwendig, dafür zu sorgen, daß die zu verschweißenden Teile sich entweder frei ausdehnen und frei schrumpfen können oder, wenn dies infolge der konstruktiven Form nicht möglich ist, die Schweißungen bei Temperaturen des gesamten Werkstückes vorzunehmen, bei denen keine örtlichen Schrumpfspannungen auftreten können. Auf metallurgischem Gebiet ergibt sich die Gefahr der Martensit- und Zementitbildung als Folge der Warmbehandlung. Eine weitere Schwierigkeit bei der Gußeisenschweißung tritt dadurch auf, daß Gußeisen keinen teigigen Zustand bei der Erwärmung durchläuft wie beispielsweise Stahl. Damit sind alle die schweißtechnischen Verfahren nicht durchführbar, die unter dem Begriff Pressschweißung zusammengefaßt sind. Es können also nur die Verfahren der Schmelzschweißung angewendet werden.

Von diesen Verfahren ist das Gießverfahren das älteste. Das Gußstück wird so eingeformt, als sollte ein vollkommen neuer Abguß hergestellt werden. Der anzuschweißende Teil muß in der Form mit ausgebildet sein. Nach entsprechender Vorbereitung der Form wird hoherhitztes Gußeisen so lange über die durch Schweißung zu verbindenden Stellen gegossen, bis die Ränder des Gußstückes mit aufschmelzen. Dann wird der Ablauf des Eisens unterbrochen und die Form vollständig aufgefüllt. Bei richtiger und sorgfältiger Durchführung dieses Verfahrens tritt eine vollkommene und einwandfreie Verbindung zwischen dem ursprünglichen Werkstück und dem neu zugebrachten Werkstoff ein, ohne irgendwelche Mängel aufzuweisen. Das Verfahren ist jedoch verhältnismäßig teuer und bedingt die Ausführung in einer Gießerei.

Um die Abhängigkeit von der Gießerei zu vermeiden, ist ein ähnliches Verfahren als Thermitgießschweißverfahren ausgebildet. Auch hier erfolgt die Einförmigkeit wie beim normalen Gießverfahren. Eine Thermitmischung von Eisenoxyd- und Aluminiumpulver wird zur Entzündung gebracht und Gußbruchteile zugegeben. Bei der Reaktion des Aluminiums mit dem Sauerstoff des Eisenoxyds entstehen Temperaturen von ca. 3000°. Das vom Sauerstoff befreite Eisen des Eisenoxyds scheidet sich als flüssiges Eisen ab. Das entstehende Eisen ist jedoch kein Gußeisen, sondern Stahl. Es bleibt daher nicht aus, daß in den Zonen, in denen der Grundwerkstoff Gußeisen aufgeschmolzen ist und der Zusatzwerkstoff Stahl sich mit ihm vermischt hat, mangels genügender Mengen Kohlenstoff und mangels entsprechender Mengen Silizium ein weißes Roheisen entsteht. Bei der großen Sprödigkeit und großen Härte von weißem Roheisen besteht demnach die Gefahr von Rissen im Übergang und die Schwierigkeit der Bearbeitung an diesen harten Übergangstellen. Die Festigkeitseigenschaften sind jedoch insbesondere beim Verbinden großer Querschnitte im allgemeinen gut.

Bei beiden Verfahren ist durch die starke Erwärmung eine so weitgehende Vorwärmung des Grundwerkstoffes erreicht, daß auftretende Spannungen sich ausgleichen können, und damit die Gefahr von Wärmerrissen verhältnismäßig gering ist.

Die weiter in Frage kommenden Verfahren der Schmelzschweißung sind durch die Anwendung der elektrischen Lichtbogenschweißung und der

Gasschmelzschweißung gegeben. Hierbei muß zwischen der Schweißung mit Vorwärmung und ohne Vorwärmung unterschieden werden.

Bei der Schweißung mit Vorwärmung kann der Wärmebedarf sowohl durch den Lichtbogen wie durch eine Gasflamme gedeckt werden. Auf Grund der eingangs angestellten Überlegungen muß die Vorwärmtemperatur 400° überschreiten und nach der Schweißung eine gleichmäßig langsame Abkühlung des gesamten Werkstückes erfolgen.

Als Zusatzwerkstoff werden gußeiserne Stäbe verwendet. Um den hohen Abbrand an Kohle und Silizium auszugleichen, wird der Kohlenstoff- und Siliziumgehalt verhältnismäßig hoch gehalten. Er beträgt

$$C = 3\text{--}3\frac{1}{2}\%$$

$$Si = \text{etwa } 3\%$$

Auch der Mangengehalt wird ziemlich hoch gehalten mit bis zu 1%. Zur Herabsetzung des Schmelzpunktes und zur Erreichung eines möglichst leichtflüssigen Zusatzwerkstoffes werden gelegentlich auch höhere Phosphorgehalte angewendet.

Außerdem werden gelegentlich Gußeisenzusatzwerkstoffe mit Siliziumgehalten bis zu 7% empfohlen. Bei einem so hohen Siliziumgehalt ist die Gefahr des Wachsens des Gußeisens ausgeschaltet. Die Gefahr des Wachsens ist aber bei der Durchführung der Schweißung nicht groß, da die Zeit der Erwärmung verhältnismäßig kurz ist. Um das beim Schweißen entstehende Eisenoxydul unschädlich zu machen, wird mit einem Flußmittel gearbeitet, welches im allgemeinen Natriumkarbonat enthält. Durch einen Zusatz von Aluminium zu diesem Flußmittel soll das Entstehen von Gasblasen verhindert werden. Für kleinere Stücke wird die Gasschmelzschweißung häufiger der Lichtbogenschweißung vorgezogen. Die sich ergebenden Festigkeitseigenschaften liegen bei einwandfrei ausgeführter Arbeit in der Größenordnung des Grundwerkstoffes. Harte Stellen ergeben sich nur bei ungenügender Verwärmung des Schweißbades oder durch zu hohen Kohlenstoff- und Siliziumabbrand.

Bei der Schweißung ohne Vorwärmung müssen die Verfahren der Gasschmelzschweißung und Lichtbogenschweißung getrennt besprochen werden.

Während bei der Gasschmelzschweißung die Wärmeverteilung auf Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff dem Bedarf entsprechend angepaßt werden kann, bestehen hierin bei der Lichtbogenschweißung Schwierigkeiten. Wegen der stark konzentrierten Wärmewirkung des Lichtbogens kann bei Verwendung von gußeisernen Zusatzstäben der Grundwerkstoff ohne Vorwärmung nicht schnell genug aufgeschmolzen werden. Daher muß bei der Lichtbogenschweißung mit einem Zusatzwerkstoff geschweißt werden, der einen höheren Schmelzpunkt als das Gußeisen hat. Man verwendet stark ummantelte Stahlelektroden. Dieser Zusatzwerkstoff ist zwar gut dehnbar, kann also den Querschrumpfungen gut nachgeben. Jedoch bilden sich im Übergang zwischen dem Zusatzwerkstoff Stahl und dem Grundwerkstoff Gußeisen alle Stufen der verschiedenen Konzentrationen des Kohlenstoffgehaltes aus, wie sie im Eisen-, Eisen-Zementit-Diagramm zusammengestellt sind. Es entsteht daher auch weißes Roheisen im Übergang.

Ebenso wird durch die sehr rasche Abkühlung an den Stellen entsprechender Zusammensetzung eine Martensit- und Zementitbildung nicht zu vermeiden sein. Die Anlafwirkung bei der Mehrlagenschweißung kann den Einfluß der Martensitbildung mindern, jedoch die

Entstehung des weißen Roheisens weder verhüten noch beseitigen.

Als Hilfsmittel verwendet man die bekannte Verstiftung in der Naht der zu verschweißenden Teile. Die Schweißung ist dann eine Verbindung der eingeschraubten Stahlstifte mit dem Stahlzusatzwerkstoff. Der Grundwerkstoff wird hierbei nur wenig aufgeschmolzen.

Die Festigkeitseigenschaften einer solchen verstifteten Schweißverbindung sind sehr gut. Eine Schweißung auf Dichtigkeit ist hierbei aber im allgemeinen nicht möglich. Der Vorteil dieser Verbindung beruht auf der geringen Wärmeableitung in die Umgebung der Schweißung.

Zur Vermeidung der Mängel bei der Lichtbogen-schweißung ohne Vorwärmung mit Stahlzusatzwerkstoff wird die Verwendung von Monelmetall als Elektrode empfohlen. Monelmetall wird aus einem Kupfer-Nickel-Erz gewonnen und enthält etwa 67% Nickel, 28% Kupfer bei ca. 5% Eisen, Mangan und übrigen Bestandteilen.

Als Zusatzwerkstoff wird gelegentlich auch Messing mit 60% Kupfer und 40% Zink verwendet. Bei diesem Verfahren handelt es sich jedoch um eine Lötung und nicht um eine Schweißung, da der Grundwerkstoff nicht aufgeschmolzen wird.

2. Sonderversuche bei der Gußeisenkaltschweißung

Mit der Schweißung ohne Vorwärmung unter Anwendung der Gasschmelzschweißung sind in meinem Institut in letzter Zeit besondere Versuche durchgeführt worden.

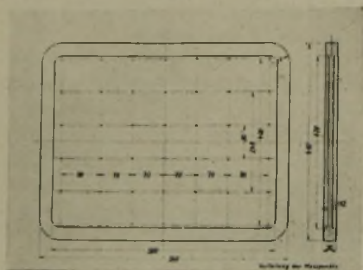


Abb. 1: Form und Abmessung der in einem schweren Rahmen fest eingespannten Versuchsplatten aus Ge 12.91, Ge 22.91 und Ge 32.91

die Feststellung der Verwerfung. Bei den ebenen Platten treten die reinen Zug- und Druckspannungen in den Vordergrund der Betrachtung. Um den Bedingungen der durch die Konstruktion gegebenen Einspannung möglichst nahe zu kommen, war das Modell mit einem schweren Rahmen versehen. Form und Abmessung der Platte zeigt Abb. 1. Die Schweißfuge wurde durch Fräsen mit einem Winkel von 75° hergestellt.

Wegen des Fehlens elastischer Dehnungen beim Gußeisen ist es nicht möglich, aus den Formänderungen auf die Spannungen zu schließen, so daß auf eine Ermittlung der Spannungen verzichtet werden muß. Durch die beim Schweißprozess auftretende Wärmeverteilung wird die rechnerische Ermittlung der Spannung schwierig und unsicher. Der Versuch, die Spannungen durch Trennverfahren oder Bohrlochverfahren zu ermitteln, blieb ohne Erfolg, da sich keine verwertbaren Re-

sultate ergaben. Der Versuch, das Schweißgut nach der Schweißung und nach langsamer Abkühlung wieder auszufräsen, führte jedesmal durch Auslösung der Spannung zu einer Zerstörung der gesamten Platte. Es ist daher nur möglich, die Verkürzungen und die Verlängerungen in Richtung der Schweißung und die Schrumpfungen senkrecht zur Naht zu bestimmen. Das Ergebnis hieraus ist in Abb. 2 zu erkennen. Hierin sind die Längungen in 40 mm Abstand von der Schweißnaht, in 120 mm Abstand und in 200 mm Abstand als prozentuale Längungenänderung der Meßbereiche aufgetragen. Die ermittelten Werte sind in der Mitte der Meßstrecke eingezeichnet, und die so gefundenen Punkte durch gerade Linien verbunden.

Das ferritische und das ferritisch-perlitische Gußeisen der Güteklassen Ge 12.91 und 22.91 ergaben im ersten Meßbereich, also im ersten Teil der Schweißung, stets eine negative Längung, also eine Verkürzung, während das perlitische Gußeisen Ge 32.91 stets eine positive Längung ergab. Bei der Stahlschweißung tritt bei nicht eingespannten geschweißten Platten von Anfang bis Ende der Naht stets eine Schrumpfung ein. Die Längungen, die sich bei der eingespannten Gußeisenplatte zeigten, wurden bei einem gleichen Abguß des Probekörpers aus Stg 45.81 zur Kontrolle nachgeprüft. Hierbei traten dieselben Ergebnisse auf, so daß die Längungen, im Abstand von 40 mm von der Schweißung gemessen, auf Form und Art der Einspannung der Platten zurückzuführen sind.

Bei der Schweißung gleicher Platten ohne den einspannenden Rahmen stellte sich bei den Stahlplatten und den Gußeisenplatten am Anfang und am Ende der Naht eine Verkürzung ein, während in der Mitte der Platten Längungen festgestellt wurden. Damit muß die allgemeine Auffassung und die entsprechende Angabe in der Literatur, daß eine gleichmäßige Schrumpfung parallel zur Schweißung eintritt, eine Ergänzung erfahren und die festgestellte Erscheinung erklärt werden.

Erwärmt man z. B. einen festeingespannten Stab an einer Stelle, so tritt durch die verhinderte Wärmeausdehnung dort eine Stauchung ein. Geht man mit der Erwärmung zonenweise über den ganzen Stab hinweg, so kühlt sich die zunächst erwärmte Zone wieder ab und sucht sich zusammenzuziehen. Bei dieser Zusammenziehung wird die nunmehr erwärmte 2. Zone

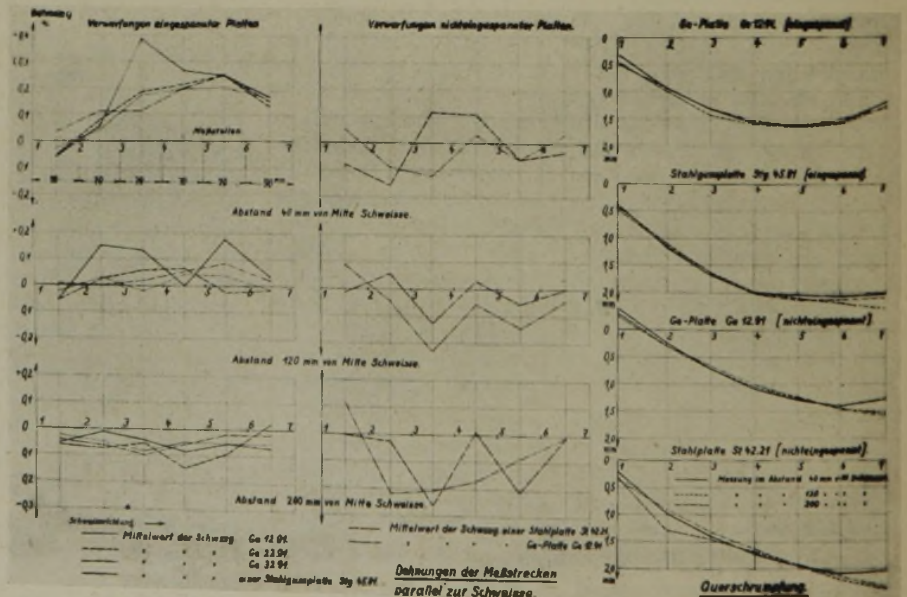


Abb. 2: Verkürzungen und Verlängerungen in Richtung der Schweißung und Schrumpfungen senkrecht zur Naht für Gußeisen verschiedener Güteklassen und vergleichsweise für Stg 45.81 und St. 42.21

senr leicht nachgeben können und erfährt daher eine starke Verlängerung, bis die Zusammenziehung in der 1. Zone beendet ist. Die 1. Zone wird also infolge der hohen Temperatur in der 2. Zone praktisch frei, also nicht eingespannt, schrumpfen können. Jede weitere Zone hat aber vor ihrer Abkühlung durch die Schrumpfung der vorhergehenden Zone eine starke Längung erfahren, die je nach Lage und Nähe zur Einspannungsstelle größer sein kann als die nachfolgende Schrumpfung. Daraus erklären sich die aufgetretenen Längungen in den übrigen Zonen.

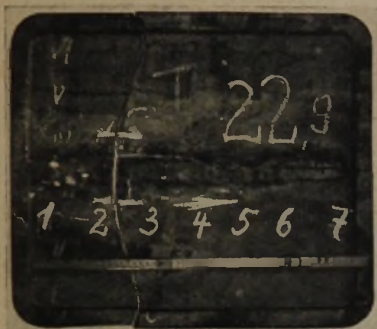


Abb. 3: Durch Längsspannungen und Querspannungen zerstörte Gußhelsenplatte Ge 22.91

Da die Schweißnaht der eingespannten Platten durch den umgebenden Werkstoff naturgemäß anders beeinflusst ist als ein eingespannter Stab, werden die Spannungsverhältnisse unübersichtlicher. Trotzdem zeigte sich die Auswirkung der Verkürzung im ersten Teil der Naht und die in den weiteren Abschnitten auftretende Verlängerung in folgender Erscheinung: An den Stellen, an denen Verkürzung und Verlängerung zusammenstießen, trat eine Zerstörung eines Teiles der Platten ein. Abb. 3 zeigt eine solche zerstörte Platte. Zuerst trat ein Riß senkrecht zur Schweißnaht auf an der Stelle, an der die innere Zugspannung mit der Druckspannung wechselt. Nachdem dieser Riß eingetreten war, riß die Platte infolge der Querschrumpfung parallel zur Schweißnaht auf. Die Längenänderung in Richtung der Naht erzeugte also an der Stelle des Querrisses eine Spannung, die größer war als die Festigkeit des Grundwerkstoffes. Die Platte wurde, um die Abkühlung nach Schweißen zu verzögern, in ein Sandbad eingebettet.

Die Einspannung der Platte durch den verhältnismäßig steifen Rahmen hat naturgemäß auch Einfluß auf die Querschrumpfung. Zu Beginn der Naht tritt durch den Einfluß des Querbalkens eine kaum meßbare Schrumpfung ein. Sie steigt dann mit zunehmender Entfernung

vom Anfangsquerbalken des Rahmens bis zu einem Maximum an und sinkt dann in der Nähe des Endquerbalkens wieder stark ab. Die Querschrumpfung am Endquerbalken ist jedoch größer als am Anfangsquerbalken, weil durch den Einfluß der zunehmenden Wärme die Einspannung am Ende der Naht nicht die gleich große Wirkung hat wie die zu Anfang der Naht.

Bei nichteingespannten Platten tritt am Ende der Naht die größte Querschrumpfung ein.

Die Schrumpfung über verschiedene Entfernungen von Mitte der Schweißnaht aus bleibt in der gleichen Größenordnung.

Die Versuche wurden von meinem Assistenten, Dipl.-Ing. Arnold, für seine Dissertation unter den verschiedensten Bedingungen ausgeführt. So wurde u. a. der Einfluß der Rechts- und Linksschweißung, der verschiedenen Gasmengen und des Sauerstoff-Azetylen-Verhältnisses festgestellt. Ebenso wurde die Härte in der Schweißnaht und im Übergang untersucht, der Wärmeeinfluß auf das Gefüge festgestellt und das Verhalten der unterschiedlichen Gußeisensorten auf Gaseinschlüsse kontrolliert. Über all diese Ergebnisse wird in der Zusammenstellung der Forschungsarbeit demnächst an anderer Stelle berichtet.

3. Zusammenfassung

Aus den gesamten Überlegungen und Untersuchungen ergibt sich, daß eine Konstruktionsgußeisenschweißung immer dann zu verwerfen ist, wenn es sich um eingespannte Teile handelt. Es wird daher in den Fällen, in denen das Gußstück, insbesondere aus Gründen seiner hohen Dämpfungsfähigkeit, der geschweißten Stahlkonstruktion vorgezogen werden muß, das altbewährte Verfahren des Gießens angewendet werden müssen. Zu der Reparaturschweißung können von den besprochenen Verfahren diejenigen Anwendung finden, die den in jedem Falle gegebenen besonderen Voraussetzungen am besten entsprechen. Wegen der bei eingespannten Gußstücken auftretenden Längungen und Schrumpfungen längs und quer zur Naht sind insbesondere Zementit- und Martensitbildungen möglichst zu vermeiden. Die übliche Auffassung, daß eine gleichmäßige Schrumpfung parallel zur Schweißnaht eintritt, muß eine Ergänzung erfahren. Bei den durchgeführten Versuchen wurden neben Verkürzungen auch Längungen festgestellt.

„Ich glaube wir haben so viel Glück in diesem Jahr erfahren, daß wir alle die Pflicht haben, diesem Glück freiwillig unser Opfer zu bringen.“

ADOLF HITLER

bei der Eröffnung des Winterhilfswerks 1938/39

Das Schweißen von plattierten Blechen^{*)} Von Direktor Dipl.-Ing. C. Hase, Duisburg

Der umfassende Begriff der Plattierung bedarf für die Begrenzung meiner Ausführungen einer einschränkenden Definition. Für die Verschweißung kommen nur solche Zweistoffe in Frage, deren Herstellung durch die Verschweißung in der Kokille oder in der Walzwärme oder in einem beide Vorgänge umfassenden Verfahren gekennzeichnet ist. Nur diese gewährleisten durch die innige Verzahnung an der Berührungsebene beider Metalle die untrennbare Verbindung, die das Erzeugnis als einen einheitlichen Werkstoff erscheinen läßt. Die Überwachungsstelle für Metalle hat daher für diese Art der Plattierungen den Begriff „Verbundwerkstoffe“ geprägt.

Die Herstellung erfolgt, wie schon einleitend angedeutet, nach verschiedenen Verfahren, die zu kennen für den Schweißfachmann zwar von Interesse, für die schweißtechnische Behandlung aber von untergeordneter Bedeutung ist. Vielmehr ist für ihn von größter Wichtigkeit, daß die schwierige und niemals befriedigend lösbare Aufgabe, die die Auskleidung stählerner Behälter mit einer Metallschicht an ihn stellte, jetzt auf einfache, technisch vollkommene Lösungen zurückgeführt werden kann.

Der Zwiespalt, der durch die ganz verschiedenen physikalischen Eigenschaften von Stahl und Metall den Konstrukteur in Nöte brachte, die Unsicherheit und Sorge, in die der Betriebsingenieur durch das unkontrollierbare Verhalten zweier mit Luftzwischenraum aufeinanderliegender ungleicher Werkstoffe gebracht wurde, sind verschwunden. An die Stelle des unvollkommenen Behelfs ist ein Baustoff hochwertigster Art und gleichmäßiger, zuverlässiger Beschaffenheit getreten, der unter allen vorkommenden Betriebsansprüchen ein in sich ganz einheitliches Verhalten zeigt und der auch vom Konstrukteur rechnerisch mit voller Sicherheit und unter voller Ausnutzung der Verbundfestigkeit eingesetzt werden kann (Abb. 1). Die Metallauflage erfüllt also

*) Die Abb. wurden vom Verfasser zur Verfügung gestellt.

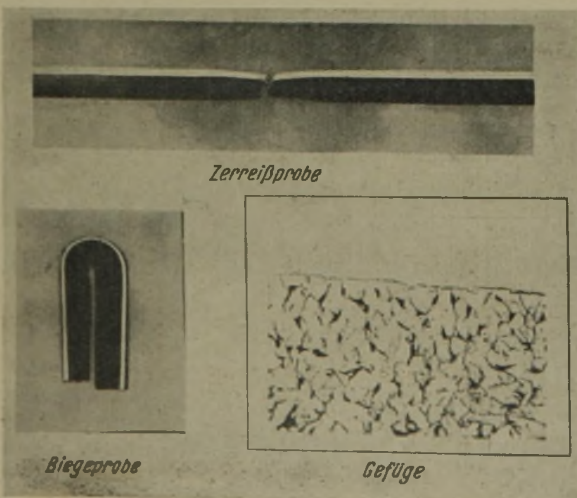


Abb. 2: Prüfung von plattiertem Werkstoff

nicht mehr den alleinigen Zweck, den Korrosionsangriff auf sich zu nehmen, sondern nimmt den ihr entsprechenden Teil der Festigkeitsansprüche auf ihre Schulter.

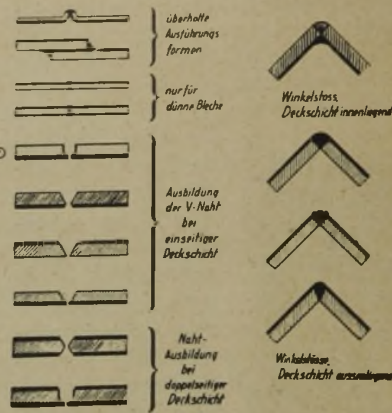


Abb. 3: Nahtformen für Plattierungen

Das erst vor einigen Jahren seinen Anfang nehmende neue Zeitalter der Verbundwerkstoffe, gekennzeichnet durch den Erfolg, plattierte Bleche bis zu einem Ausmaß von 3x12 m und bis zu 70 mm Gesamtdicke, runde Bleche und gepreßte Böden bis zu 4000 mm Ø in einwandfreier gleichmäßiger Beschaffenheit herzustellen (Abb. 2),

hätte nicht den glücklichen Start genommen, wenn ihm nicht die Schweißtechnik zum Wegbereiter geworden wäre. Niemals hätte eines der älteren Verbindungsverfahren die Entwicklung, die dieser Baustoff in kurzer Zeit genommen hat, in gleicher Weise fördern können. Gas- und Lichtbogenschweißung, beide auf eine lange Entwicklung und reiche Erfahrung in der Behandlung von Stahl und Metallen zurückblickend, haben nach wenigen tastenden Versuchen die Verfahren gefunden, die den besonderen Eigenheiten der Zweistoffe gerecht werden. Bei sachgemäßer Ausführung der Schweißung lassen sich Verbindungen mit guten Festigkeits- und Korrosionseigenschaften erzielen. Dabei ergab sich sehr schnell die Erkenntnis, daß nur der Stumpfstoß, in besonderen Fällen auch der Eckstoß zur Anwendung gelangen kann, die Kehlnaht dagegen ganz in den Hintergrund tritt.

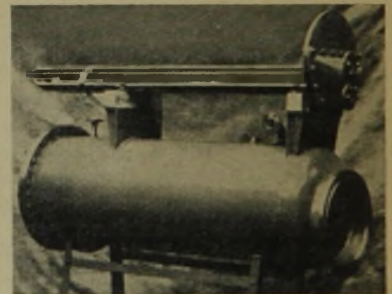


Abb. 4: Seewasser-Anwärmer 600 Ø, 2000 lg, kupferplattiert 3 + 1 mm

Abb. 3 gibt in einer Zusammenstellung die wichtigsten Nahtformen, die im einzelnen erläutert werden.

A. Verbundwerkstoff Stahl - Kupfer

Die Regelform für das Schweißen von dicken Kupferplattierungen ist die U-Naht bzw. eine X-Naht mit dem Scheitel in der Berührungsebene. Es ergibt sich aus dem großen Unterschied

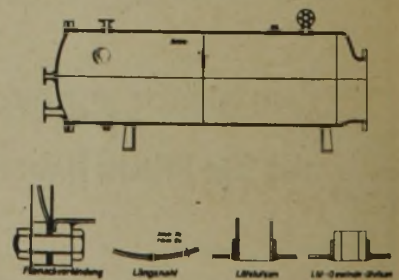


Abb. 5: Seewasser-Anwärmer, kupferplattiert

der Schmelzpunkte die Bedingung, daß die Stahlseite zuerst geschweißt werden muß. Auch kann bei dieser nur mit dem Lichtbogen geschweißt werden, um die Wärmeableitung und -strahlung zur Kupferdeckschicht

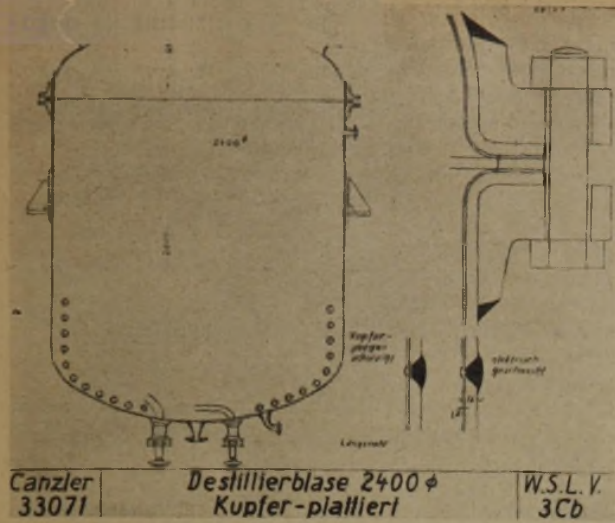


Abb. 6: Destillierblase 2400 Ø, kupferplattiert

gering zu halten, die bei Anwendung der Autogenschweißung zu einem Ablauen des Metalls an den Schweißlippen führen würde.

Vor dem Auftragen der Metallschicht muß der Nahtgrund sorgfältig gesäubert und glatt geschliffen werden, um nicht nur eine metallisch reine Berührungsebene, sondern auch eine glatte Auflage zu schaffen, die dem Gleiten des beim Abkühlen schrumpfenden Metalls kein Hindernis bietet.

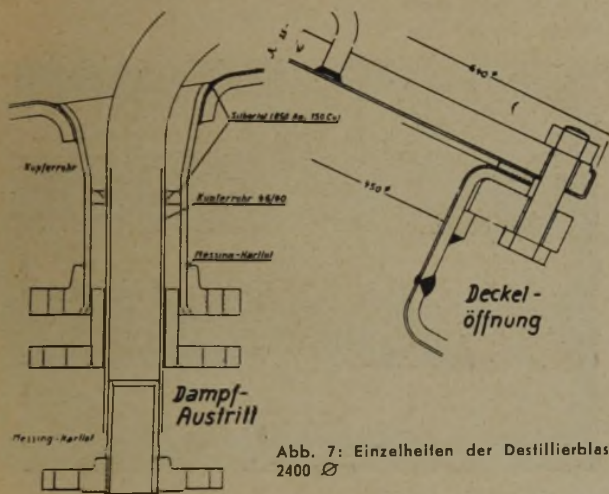


Abb. 7: Einzelheiten der Destillierblase 2400 Ø

Beim Schweißen der Deckschicht entsteht die größte Schwierigkeit durch den von dem Stahlkern ausgehenden starken Wärmeabzug. In vielen Fällen ist daher ein vorheriges Anwärmen erforderlich.

Die Abb. 4 und 5 zeigen Beispiele, bei denen der Kupferauftrag autogen erfolgt ist.

Hier ist der Stahlkern elektrisch geschweißt, das Kupfer autogen aufgebracht. — Wir haben bei Blechen dieser Dicke die Beobachtung gemacht, daß die Nachlinkschweißung leicht zu Porenbildung im Kupfer führt, während die Nachrechtsschweißung praktisch porenfreie Nähte ergab. Diese Erscheinung ist auf den Wärmeentzug durch die



Abb. 8: Kupferplattiertes Stahlblech, Plattierung elektrisch mit Schlauchelektrode geschweißt

Masse des Kernblechs zurückzuführen. Bei der Nachrechtsschweißung wird diesem durch die Wärme der über die geschweißte Naht bestreichenden Schweißflamme entgegengewirkt.

An und für sich darf man einzeln auftretenden Poren nicht zu großes Gewicht beimessen. Ganz selten wird man Poren feststellen können, die von der Oberfläche bis zum Grunde der Metallschicht durchgehen. Vielmehr wird fast stets über und unter den Poren so viel Werkstoff anstehen, daß ein Korrosionsangriff nicht zu befürchten ist.

Bei Behältern kleineren Durchmessers, die nicht von innen befahrbar sind, wie z. B. Heißwasserspeichern, wird die Naht im J-Stoß von außen durch und durch in Kupfer gelegt. Diese Lötung — denn um eine solche handelt es sich — gibt eine Nahtfestigkeit von etwas über 20 kg/mm², die für diese Zwecke völlig ausreicht.

Die Diffusionsgefahr ist bei Kupfer aus Stahl ohne Bedeutung. Abb. 6 zeigt eine große kupferplattierte Destillierblase, an deren Konstruktion vor allem die Ausführung der Anschlüsse interessiert. Diese lassen einerseits die gute Verformbarkeit des Verbundwerkstoffes erkennen, andererseits, wie man unter Zuhilfenahme von Vollkupfer und Anwendung der Lötung sowie des Aufwalzens eiserner Flanschen auch Übergänge verwickelter Form, für die geeignete Profile nicht zur Verfügung stehen, ausführen kann (Abb. 7). In jüngster Zeit hat die Kupferlichtbogen-schweißung in Anwendung auf Kupferplattierungen große Fortschritte gemacht. Der Erfinder der Schlauchelektrode, Dr. L e s s e l, hat eine Sonderelek-

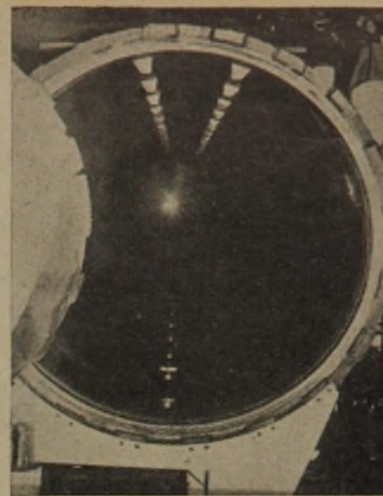


Abb. 9: Kocher 3000 Ø, 1100 lg., aus kupferplattiertem Stahl 16 + 3 mm

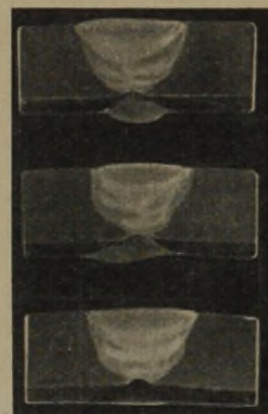


Abb. 10: Makroschliffe von kupferplattiertem Blech 16 + 3 mm



Abb. 11: Schliffprobe der Schweißnaht an kupferplattiertem Blech, V = 100



Abb. 12: Korrosionsangriff auf geschweißte Kupferauflage

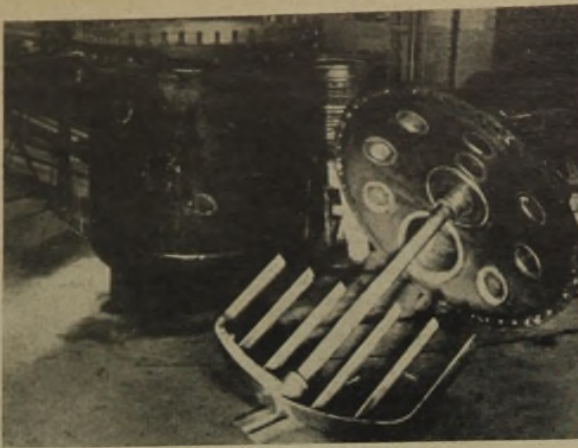


Abb. 12a: Kessel 1700 \varnothing , 2000 hoch, nickelplattiert mit Führer nickelverkleidet

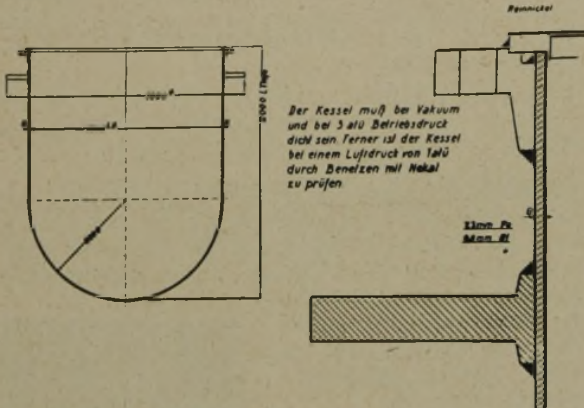


Abb. 13: Kessel 1600 mm l. \varnothing ; nickelplattiert

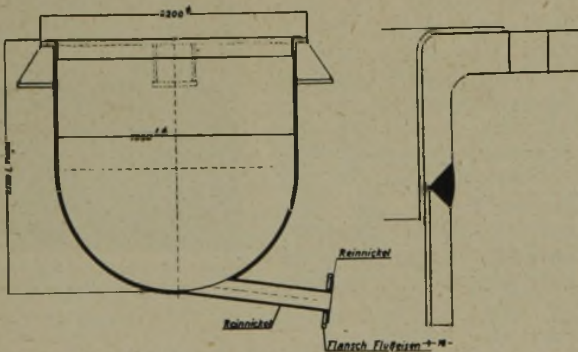


Abb. 13a: Behälter 1950 mm l. \varnothing ; nickelplattiert

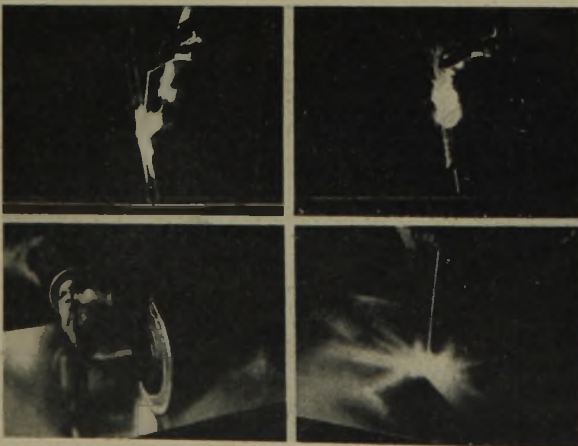


Abb. 14: Schweißung von plattiertem Werkstoff

trode entwickelt, die auf die besonderen Eigenschaften des dünnen Metallblechs rasch aus dem Versuchsstadium zur Anwendung an großen Bauteilen geführt hat (Abb. 8). Sie läßt sich sowohl in waagerechter wie auch an stehender Wand einwandfrei verschweißen und erfordert höchstens am Anfang der Naht eine einmalige Anwärmung auf etwa 300°. Da der Kupferlichtbogen eine Zündspannung von 110 bis 120 V und eine Schweißspannung von 80—90 V verlangt, müssen für diese Arbeiten 2 Umformer gleicher Charakteristik hintereinandergeschaltet werden.

Abb. 9 zeigt einen Behälter von 3000 mm \varnothing und 1100 mm Länge, 16-mm-Stahlkern St. 37 mit 3 mm Kupferauflage. Der größte wirtschaftliche Vorteil der

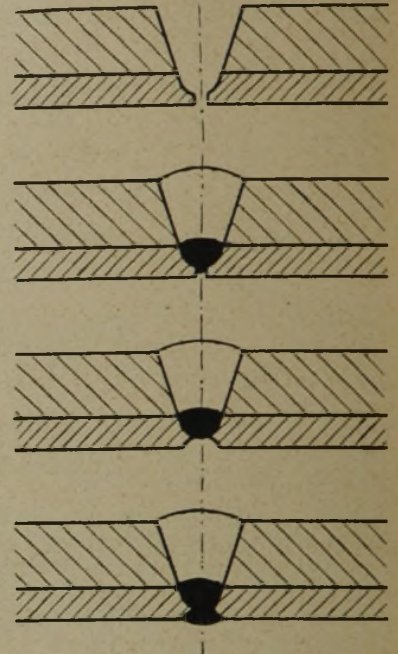


Abb. 15: Schweißen von rostfrei plattierten Stahlblechen

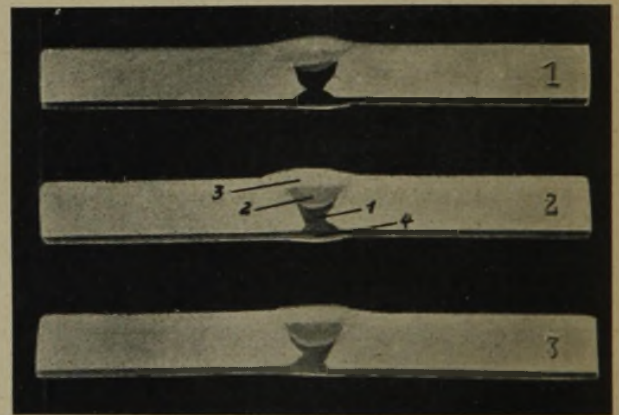


Abb. 16: 1, 2, 3

Anwendung des Verbundwerkstoffs liegt hier in dem Fortfall der bisher erforderlichen Ausmauerung, die öfter erneuert werden mußte und den Durchmesser des Kochers um die doppelte Stärke der Ausmauerung vergrößerte. Sämtliche Nähte dieses Kessels sind mit der Schlauchelektrode geschweißt. Abb. 10 zeigt die Makroschliffe aus Probestücken, die bei der Schweißung dieser Behälter angefertigt wurden, und zwar: oberer Schliff nicht gehämmert, mittlerer Schliff kalt gehämmert, unterer Schliff warm gehämmert.—Das

Kalthämmern brachte keinen ersichtlichen Vorteil, barg außerdem die Gefahr der Potentialveränderung

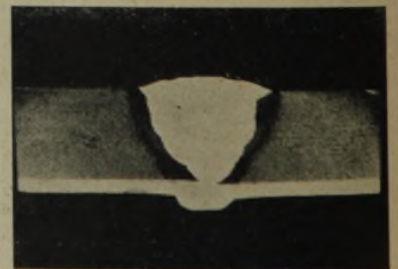


Abb. 16a: Schweißnaht an remantplattiertem Stahlblech

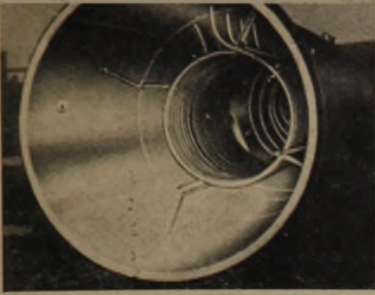


Abb. 17: Turm aus remanitplattiertem Werkstoff 1,85 m \varnothing , 7,00 m hoch, Gesamtwandstärke 7 mm

in sich. Die warm gehämmerten Proben zeigten die besten Ergebnisse mit einer Festigkeit von rund 36 kg/mm² und 28,3 % Dehnung bei Biegewinkeln zwischen 60 und 180°. Abb. 11 zeigt in 100facher Vergrößerung die vorzügliche Bindung an der Berührungsebene.



Abb. 18: Nickelplattierte Autoklaven mit aufgeschweißten Dampfmänteln

Abb. 12 gibt den Erfolg einer Korrosionsprobe wieder, die nach Abzehrung des Eisens an dem Kupferauftrag durch starken Salpetersäureangriff vorgenommen wurde. Die Schweißnaht steht noch etwas über dem Kupfer vor, ein Beweis, daß dieselbe in ihrer Legierung edler als das Kupfer ist.

B. Verbundwerkstoff Stahl — Nickel

Beim Schweißen von Nickelplattierungen stehen Autogen- und Elektroschweißung in Wettbewerb. Bezüglich der Ausführungsschwierigkeiten gilt im allgemeinen dasselbe wie bei den Stahl-Kupfer-Plattierungen. Neben der Vermeidung von Poren ist der Verhinderung der Diffusion des Eisens in die Nickelnaht besondere Aufmerksamkeit zu widmen (Abb. 12a). In dieser Hinsicht lagen anfänglich die größeren Aussichten auf Erfolg bei der Autogenschweißung, die eine bessere Beherrschung des Schmelzbades und des Anschmelzens der Stahlunterlage gewährleistet. Vergleichsversuche haben gezeigt, daß den bei der Autogenschweißung erreichbaren

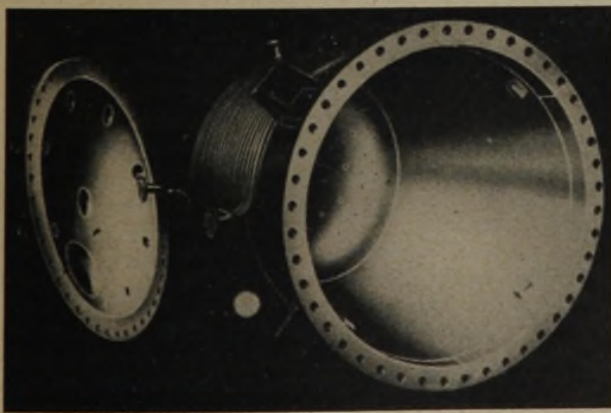


Abb. 19: Dampfdruckbehälter aus plattiertem Werkstoff mit Außenberührung

niedrigsten Werten für die Eisenaufnahme im Nickel die Elektroschweißung nicht nahezu kommen vermag. Auf der anderen Seite haben Korrosionsversuche ergeben, daß auch ein hoher Eisengehalt in der Nickelnaht (maximal 9%) die Korrosionsbeständigkeit derselben nicht beeinflusst. Durch Verwendung umhüllter Carbonynickelelektroden von kleinem Durchmesser bei geringer Stromstärke ist es der Elektroschweißung gelungen, die Schweißnaht möglichst porenfrei und niedrig im Eisengehalt zu halten, so daß sie jetzt im Großbehälterbau vorherrschend ist (Abb. 13). Versuche, auch für die Nickel-Auftragsschweißung eine Sonder-elektrode nach Art der Lesselschen Schlauchelektrode zu schaffen, haben bisher zu keinem Ergebnis geführt.

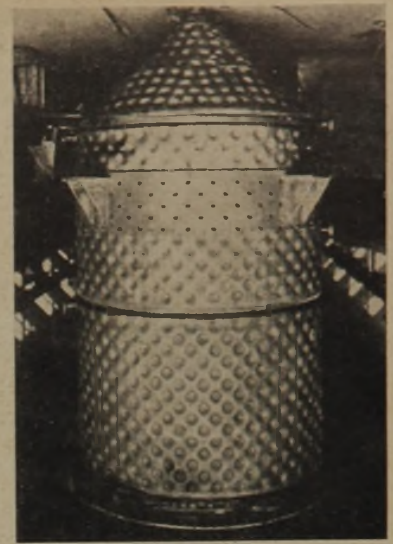


Abb. 20: Kocher 2000 \varnothing , 4000 lg.; remanitplattiert

Ausführung geschweißter Doppelmantelgefäße				
Konstruktion:				
Gefäß Mantel	Vollkupfer	Cu-Plattiert Flußstahl	Cu-Plattiert „Jamka“ Mantel	Cu-Plattiert „Jamka“ Berührung
Max. Belastungsmöglichkeit:				
Dampf temperat.	180°	214°	289°	374°
Dampfdruck	10 atü.	20 atü.	75 atü.	225 atü.
Material-Bedarf:				
Kupfer	890 kg	23 kg	23 kg	23 kg
Flußstahl	—	445 "	320 "	440 "

Abb. 21: Materialersparnis und Leistungssteigerung durch Plattierung

Wohl aber hat sich dabei gezeigt, daß die Verdoppelung der Schweißspannung den Schweißvorgang ganz wesentlich erleichtert, bei gleichzeitiger Verbesserung der Güte der Naht.

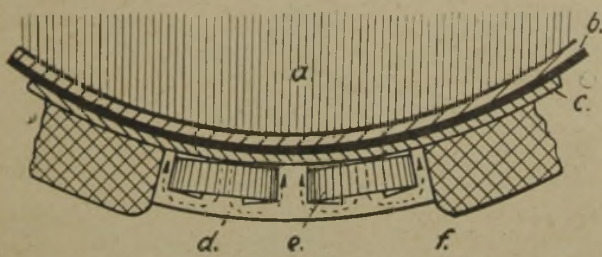
Bei der Autogenschweißung wird zuerst die Eisenseite als V-Naht in einer Lage mit normalem Stahlschweißdraht geschweißt, dann nach vorheriger Säuberung des Grundes und Anwärmung mit dem Schweißbrenner die Nickelnaht gelegt (Abb. 13a).

Bei der elektrischen Schweißung wird anscheinend vorgezogen, auf der Plattierungsseite zu beginnen, wobei zum Teil mit Wechselstrom geschweißt wird, um dann die andere Seite mit einer nickellegierten Elektrode — wenigstens in den unteren Lagen — an Gleichstrom zu verschweißen.

C. Verbundwerkstoff rostfreier Stahl — Stahl

Für diese Plattierungen gelten für die Verschweißung im wesentlichen dieselben Bedingungen wie für Nickelplattierungen. Die Schweißnähte der Auflage neigen

bei rostfreien Plattierungen wegen des großen Unterschiedes in der Wärmeleitfähigkeit und Ausdehnung der Auflage gegenüber Stahl zur Rißbildung und sind daher noch vorsichtiger zu verschweißen. Aus diesem Grunde wird mit geringen Ausnahmen der Elektroschweißung der Vorzug gegeben (Abb. 14).



a - Heizgut. *b* - kupferplattiertes Kesselblech.
c - Arbest. *d* - Blechpaket. *e* - Primärwicklung.
f - Wärmeisolation.

Abb. 22: Verwendung plattierter Bleche

Auch hier wird (Abb. 15) auf der Stahlseite zumindest in den unteren Lagen mit einer der Deckschicht entsprechenden Elektrode geschweißt. Es wird — obwohl, wie die Proben in Abb. 16 erkennen lassen, eine einwandfreie Bindung zu erzielen ist — davon abgeraten, mit unlegierter Elektrode abzudecken, da mit verstärkter Martensitbildung in der Einbrandzone zu rechnen ist, die Veranlassung zu Rißbildung geben kann.

Abb. 16a zeigt eine Naht, bei der auch die Stahlseite mit dem Werkstoff der Auflage verschweißt worden ist. Für Stahl mit Auflagen aus den hitzebeständigen Ferrotherm- und Nichrothermstählen sind die Schweißbedingungen gleichgeartet. — An dieser Stelle möchte ich nur kurz auf die Plattierung von Kupfer, Nickel und rostfreien Stählen auf diffusionssicheren Stahl hinweisen, die für besondere Zwecke der chemischen Industrie benötigt werden, deren Apparaturen ebenfalls vollständig geschweißt werden. — Abb. 17 zeigt einen Turm größeren Ausmaßes aus remanitplattiertem Werkstoff.

Zu den bemerkenswertesten Ausführungen an Stahl mit korrosionsbeständiger Auflage gehören Zellstoffkocher, die bis zu 220 cbm Inhalt aufweisen, bei Blechdicken von 13 bis 17 mm und 2,5 mm Auflage. Auch hier bedeutet der Fortfall der inneren Ausmauerung einen großen technischen und wirtschaftlichen Fortschritt sowie eine Verbesserung der Güte des Erzeugnisses, die ohne allzu hohen Aufwand an hochwertigen Legierungsbestandteilen erreicht wird.

Für die Beheizung von Behältern durch aufgesetzte Dampf-mäntel bieten die Verbundwerkstoffe insofern einen besonderen Vorteil, als sie die Anwendung der für die Stahlausführung entwickelten Bauformen ohne weiteres gestatten. Es entfällt somit einerseits ein Teil der Kosten, die die Ausföhrung in Vollmaterial mit sich bringt, und des

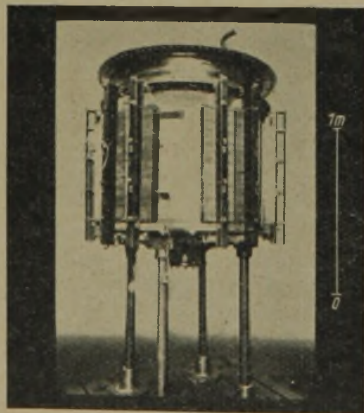


Abb. 23: Kupferplattierter Kessel mit Niederfrequenz-Wirbelstrom-Heizung im Prüffeld; 6 Wirbelstrom-Heizplatten je 20 kW, 50 Hz, 320 °

Devisenaufwands, an

rigkeit, die geeignete Metall zu finden (Abb. 18).

Die Abb. 19/20 zeigen derartige Ausführungen.

Die Zusammenstellung in der Abb. 21 zeigt endlich an dem Beispiel eines Reaktionsgefäßes von 800 mm \varnothing und 1000 mm Höhe nicht nur die Ersparnis an Metall, sondern auch die Steigerung der Heizleistung.

Ein weiterer Fortschritt ist durch die Verwendung kupferplattierter Bleche für eine neue induktive Beheizungsart, entwickelt von dem Ingenieur Neiß, gegeben. Der Aufbau solcher Wirbelstromerhitzer geht aus Abb. 22 hervor. Er hat nach Art eines Transformators einen geblättern, bewickelten Primärteil. Der Sekundärteil wird durch die Heizwand des Behälters gebildet, der aus Stahl guter Permeabilität von einer bestimmten Mindestwanddicke bestehen muß. Die Wärme wird in der Hauptsache durch Wirbelströme erzeugt. Der Erfindungsgedanke von Neiß geht dahin, daß die Wärmewirkung wesentlich gesteigert und der Leistungsfaktor bedeutend verbessert werden kann, wenn auf den magnetisch gut leitenden Sekundärteil ein dünner Belag mit großer elektrischer Leitfähigkeit — also möglichst Kupfer — aufgebracht wird. In diesem Belag tritt die Hauptwärmeerzeugung auf. Zur Verkleinerung des Temperaturgefälles zwischen Belag und Heizwand ist eine innige metallische Verbindung anzustreben, die also am wirksamsten durch Walzplattierung erreicht wird. Diese Verbesserung der induktiven Beheizung gestattet, die spezifische Leistungsübertragung von bisher 30 kW/m², die an die magnetische Sättigung des Eisens gebunden ist, auf 130 kW/m² zu erhöhen, die sich voraussichtlich noch auf 250—300 kW/m² steigern läßt. Das Anwendungsgebiet ist durch die schlechter werdenden elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Eisens bei höherer Temperatur auf die Heizguttemperaturen von 200 bis 500° beschränkt.

Die Wirbelstromheizung, Patent Neiß, kommt also für die chemische Industrie da in Frage, wo es — z. B. in der Ölraffination — erwünscht ist, mit hohen Heizleistungen zu arbeiten, ohne dabei die Wärme von außen auf die Gefäßwandungen übertragen zu müssen. Der Vorgang wird durch das neue Verfahren meist außerordentlich beschleunigt, so daß die Durchsätze stark erhöht werden. Dabei kann diese Heizung gleichmäßiges Anheizen, Verkürzung der Anheizdauer und des ganzen Erwärmungsvorgangs, feinfühliges Regeln und Momentanabschaltung der Wärmezufuhr als weitere Vorteile für sich buchen. Es sind bereits Einheiten bis zu 600 kW Leistung ausgeführt und in Betrieb (Abb. 23). Dabei besteht grundsätzlich keine Schwierigkeit, einen solchen Kesselschuß als Dreistoffblech, also z. B. mit einer innenliegenden rostfreien Plattierung und einer außenliegenden Kupferauflage herzustellen.

Wenn auch die Einsparung an devisenfressenden Metallen bei der Anwendung der Verbundwerkstoffe in allen Fällen ganz offensichtlich in Erscheinung tritt, so ist damit nicht etwa eine Verringerung der Herstellungskosten in Höhe des in Fortfall kommenden Metallanteils verbunden. Der Entstehungsgang geschweißter Teile aus plattierten Blechen vom Block bis zur fertigen Ausführung bringt eine Reihe zusätzlicher Aufwendungen und Arbeiten mit sich, die diesen Preisunterschied zum Teil oder ganz aufzehren können. Das ist aber nicht das Entscheidende. Vorangestellt werden muß der technische Fortschritt, der in diesem neuen Baustoff und seiner Verarbeitung unter der Hand des Schweißers sich offenbart und zu höherwertigen Konstruktionen führt. Die deutsche Technik kann stolz darauf sein, daß dieser Fortschritt mit den Forderungen des Vierjahresplanes auf gleicher Straße marschiert.

Aussprachebeiträge zur Schweißtagung

Eröffnung

Als Leiter der Schweißtagung eröffnete Herr Direktor Dipl.-Ing. C. Hase, Duisburg, die Reihe der Vorträge mit etwa folgenden Worten:

Herr Hase:

Meine Herren! Ich eröffne die heutige Tagung, veranstaltet vom Haus der Technik Essen, gemeinsam mit dem Ausschuss für Schweißtechnik im VDI, dem Verband für autogene Metallbearbeitung, Berlin, und der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung, Berlin. Wir haben ein umfangreiches Programm vor uns mit insgesamt neun Vorträgen, so daß wohl von einem Großkampftag erster Ordnung gesprochen werden kann.

Der vorbereitende Ausschuss hat aus dem immer größeren Umfang annehmenden Gebiet der Schweißtechnik einige der im Brennpunkt des Interesses stehende Fragen herausgestellt und dafür geeignete Vortragende zu gewinnen gesucht. Wir sind uns einerseits bewußt, daß diese Auswahl der Themen nicht erschöpfend sein kann, auf der anderen Seite stand uns für jedes Thema eine größere Zahl von Spezialisten zur Verfügung, von denen wir natürlich jeweils nur einen als Vortragenden bitten konnten, wobei wir zudem auf bereits früher gepflogene Verhandlungen zurückgreifen mußten. Wir hoffen jedoch, gerade von denjenigen Fachleuten, die diesmal nicht als Redner zu Wort kommen, daß sie sich an der Aussprache beteiligen und dadurch dem Bild des derzeitigen Standes der Schweißtechnik die erforderliche Abrundung geben. Das würde mit dazu verhelfen, unser Vorhaben zu verwirklichen, die heutige Tagung über eine Veranstaltung normalen Stils hinauszuhoben und ihr einen Inhalt zu geben, der unserer Arbeit auf unserem Sondergebiet Ziel und Richtung gibt. Ich darf daher die Redner und die an der Aussprache Beteiligten bitten, sich in ihren Ausführungen diesem Ziele unterzuordnen und damit unserer Tagung zu dem erhofften Erfolg zu verhelfen. Ich bitte dann als ersten Redner Herrn Dr. Rapatz, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Rapatz.

Ich sage dem Vortragenden in Ihrem Namen den verdienten Dank. Er hat eine vorzügliche, objektive Übersicht über dieses viel umstrittene Gebiet gegeben, die jeden befriedigt haben wird. Und zwar nehme ich an, daß nicht nur der Verbraucher, sondern auch der Hersteller, einerlei, aus welchem Lager er stammen möge, diese Objektivität des Vortragenden anerkennen wird.

Wir kommen zur Aussprache; das Wort hat Herr Dipl.-Ing. Brück, Eberswalde:

Herr Brück:

Herr Dr. Rapatz erwähnt die Wichtigkeit des Wurzeleinbrandes. Meiner Ansicht nach ist diese Forderung in erster Linie wohl bei V-Nähten angebracht. An Kehlnähten, wie Dr. Rapatz sie uns zeigte, ist dieser tiefe Wurzeleinbrand nicht so wichtig, wie das vielleicht scheinen möchte. Denn diese Kehlnähte, wie Dr. Rapatz sie uns zeigte, sind ja mehr oder weniger eine Kompromißlösung. Der gute Wurzeleinbrand ist meiner Ansicht nach bei Stumpfnähten ganz besonders wichtig, da aber die Kehlnaht am Kreuzstoß immer eine Kompromißlösung bedeutet — hier ist bei nicht abgeschrägtem Stehblech sowieso stets eine Kerbwirkung vorhanden —, dürfte ein kleiner Wurzelfehler von untergeordneter Bedeutung sein, da der Kraftfluß sowieso nicht geradlinig verlaufen kann. Besonders trifft dies bei der von der Reichsbahn vorgeschriebenen Kreuzprobe zu. Viel wichtiger erscheint mir ein glatter, kerbfreier Übergang von der Schweißse zum Blech, der bei der Mantelelektrode eher gegeben ist als bei der Seelenelektrode oder nackten Elektrode. Selbstverständlich soll dem schlechten Wurzeleinbrand nicht das Wort geredet werden. Zudem sind mir keine Fehler bekannt, wo bei

Mantelelektroden ein schlechter Wurzeleinbrand vorherrschend ist, falls die Wurzelschweißung mit einem Draht von nicht mehr als 3,5 mm Durchmesser durchgeführt wird. Zu der Frage der Spannung ist zu sagen, daß es spannungsfreie Schweißungen ebensowenig bei Seelendraht wie bei Manteldraht gibt, und daß die Verwerfungen bei Manteldrahtschweißungen nur auf einer Auslösung der Spannung beruhen. Herr Dr. Rapatz sprach davon, daß bei blanken Drähten keine Spannung wäre. Aber ich glaube, daß gerade diese niedrige Verwerfung ein Nichtauswirken der Spannung sein dürfte, die man eigentlich nur durch Ausglühen wieder wegbringen kann. Daß sich bei Manteldrähten das Blech wirft, ist eigentlich nichts anderes als eine Auslösung dieser Spannung. Das tritt bei Seelen- und nackten Drähten weniger auf, und dadurch täuscht man sich leicht darüber hinweg, daß bei Seelendrähten und nackten Drähten keine Spannungen vorhanden sind. Es wäre sehr erfreulich, wenn darüber die anderen Herren ihr Wissen bekanntgäben.

Herr Hase:

Ich möchte noch auf eine Beobachtung hinweisen, nämlich auf die meiner Ansicht nach unbeschränkte Lagerfähigkeit der Seelendrähte. Wenn man gezwungen ist, für die verschiedenen Zwecke ein größeres Lager zu halten, und wenn dieses nicht genügend trocken ist, dann wird man feststellen, daß die Mantelelektroden und nackten Elektroden Gefahr laufen, minderwertig zu werden. Diese Gefahr laufen die Seelenelektroden nicht. Auf diesen Vorzug ist bis jetzt noch nicht genügend hingewiesen worden. Ich bitte Herrn Dr. Rapatz, das Schlußwort zu sprechen.

Herr Dr. Rapatz:

Es ist für mich einigermaßen überraschend, zu hören, daß bei Kehlnähten guter Einbrand nicht nötig sei. Im Gegenteil, meine Überzeugung ist, daß die Schäden, die aufgetreten sind, gerade eben durch den schlechten Einbrand der Kehlnähte vorgekommen sind. So viel ich weiß, kommen nur bei solchen Kehlnähten schlechte Ergebnisse vor. Daß bei nicht ummantelten Drähten überhaupt keine Spannungen vorkommen, hat niemand gesagt, und das kann auch nicht sein. Die Spannungen sind nur kleiner als bei Schweißungen mit ummantelten Drähten.

Herr Hase hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Seelendrähte unbeschränkt lagerfähig sind. Das ist ein außergewöhnlicher Vorteil. Noch andere Vorteile, die ich vergessen hatte, sind die der besseren Eignung für Automatschweißung.

Herr Hase:

Ich sage nochmals Herrn Dr. Rapatz und dem Diskussionsredner den Dank der Versammlung.

Meine Herren! Die Aussprache über den Vortrag „Schweißen von Leichtmetallen und ihren Legierungen“ wird mit der Aussprache über den Vortrag „Die Widerstandsschweißung in ihrer Anwendung auf Leichtmetalle“ verbunden. Ich bitte Herrn Dr. v. Rajakovics, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Rajakovics.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich möchte zunächst Herrn Dr. v. Rajakovics mein Kompliment darüber aussprechen, daß er die Vortragszeit um fünf Minuten unterschritten hat. Ich möchte auch Herrn Siemers bitten, sich in der gleichen Richtung zu bemühen, und bitte ihn, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Siemers.

bei rostfreien Plattierungen wegen des großen Unterschiedes in der Wärmeleitfähigkeit und Ausdehnung der Auflage gegenüber Stahl zur Rißbildung und sind daher noch vorsichtiger zu verschweißen. Aus diesem Grunde wird mit geringen Ausnahmen der Elektroschweißung der Vorzug gegeben (Abb. 14).

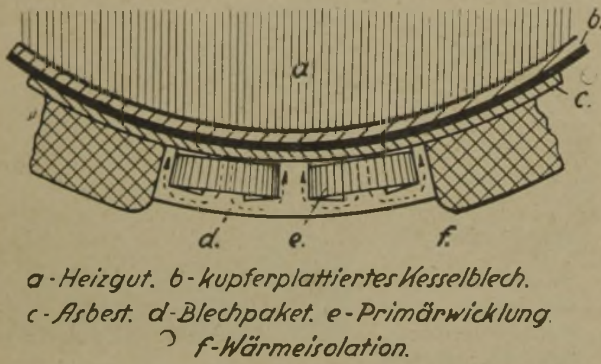


Abb. 22: Verwendung plattierter Bleche

Auch hier wird (Abb. 15) auf der Stahlseite zumindest in den unteren Lagen mit einer der Deckschicht entsprechenden Elektrode geschweißt. Es wird — obwohl, wie die Proben in Abb. 16 erkennen lassen, eine einwandfreie Bindung zu erzielen ist — davon abgeraten, mit unlegierter Elektrode abzudecken, da mit verstärkter Martensitbildung in der Einbrandzone zu rechnen ist, die Veranlassung zu Rißbildung geben kann.

Abb. 16a zeigt eine Naht, bei der auch die Stahlseite mit dem Werkstoff der Auflage verschweißt worden ist. Für Stahl mit Auflagen aus den hitzebeständigen Ferrotherm- und Nichrothermstählen sind die Schweißbedingungen gleichgeartet. — An dieser Stelle möchte ich nur kurz auf die Plattierung von Kupfer, Nickel und rostfreien Stählen auf diffusionssicheren Stahl hinweisen, die für besondere Zwecke der chemischen Industrie benötigt werden, deren Apparaturen ebenfalls vollständig geschweißt werden. — Abb. 17 zeigt einen Turm größeren Ausmaßes aus remanitplattiertem Werkstoff.

Zu den bemerkenswertesten Ausführungen an Stahl mit korrosionsbeständiger Auflage gehören Zellstoffkocher, die bis zu 220 cbm Inhalt aufweisen, bei Blechdicken von 13 bis 17 mm und 2,5 mm Auflage. Auch hier bedeutet der Fortfall der inneren Ausmauerung einen großen technischen und wirtschaftlichen Fortschritt sowie eine Verbesserung der Güte des Erzeugnisses, die ohne allzu hohen Aufwand an hochwertigen Legierungsbestandteilen erreicht wird. Für die Beheizung von Behältern durch aufgesetzte Dampf-mäntel bieten die Verbundwerkstoffe insofern einen besonderen Vorteil, als sie die Anwendung der für die Stahlausführung entwickelten Bauformen ohne weiteres gestatten. Es entfällt somit einerseits ein Teil der Kosten, die die Ausführung in Vollmaterial mit sich bringt, und des

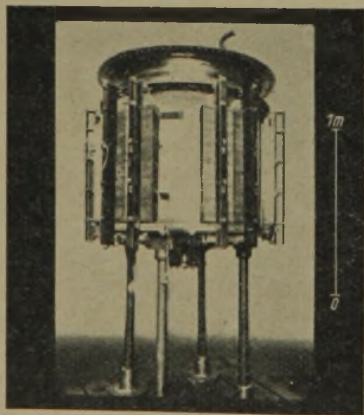


Abb. 23: Kupferplattierter Kessel mit Niederfrequenz-Wirbelstrom-Heizung im Prüffeld; 6 Wirbelstrom-Heizplatten je 20 kW, 50 Hz, 320 °

Devisenaufwands, ar- rigkeit, die geeign Metall zu finden (Abb. 18).

Die Abb. 19/20 zeigen derartige Ausführungen. Die Zusammenstellung in der Abb. 21 zeigt endlich an dem Beispiel eines Reaktionsgefäßes von 800 mm Ø und 1000 mm Höhe nicht nur die Ersparnis an Metall, sondern auch die Steigerung der Heizleistung.

Ein weiterer Fortschritt ist durch die Verwendung kupferplattierter Bleche für eine neue induktive Beheizungsart, entwickelt von dem Ingenieur Neiß, gegeben. Der Aufbau solcher Wirbelstrom-erhitzer geht aus Abb. 22 hervor. Er hat nach Art eines Transformators einen geblätternen, bewickelten Primärteil. Der Sekundärteil wird durch die Heizwand des Behälters gebildet, der aus Stahl guter Permeabilität von einer bestimmten Mindestwanddicke bestehen muß. Die Wärme wird in der Hauptsache durch Wirbelströme erzeugt. Der Erfindungsgedanke von Neiß geht dahin, daß die Wärmewirkung wesentlich gesteigert und der Leistungsfaktor bedeutend verbessert werden kann, wenn auf den magnetisch gut leitenden Sekundärteil ein dünner Belag mit großer elektrischer Leitfähigkeit — also möglichst Kupfer — aufgebracht wird. In diesem Belag tritt die Hauptwärmeerzeugung auf. Zur Verkleinerung des Temperaturgefälles zwischen Belag und Heizwand ist eine innige metallische Verbindung anzustreben, die also am wirksamsten durch Walzplattierung erreicht wird. Diese Verbesserung der induktiven Beheizung gestattet, die spezifische Leistungsübertragung von bisher 30 kW/m², die an die magnetische Sättigung des Eisens gebunden ist, auf 130 kW/m² zu erhöhen, die sich voraussichtlich noch auf 250—300 kW/m² steigern läßt. Das Anwendungsgebiet ist durch die schlechter werdenden elektrischen und magnetischen Eigenschaften des Eisens bei höherer Temperatur auf die Heizguttemperaturen von 200 bis 500° beschränkt.

Die Wirbelstromheizung, Patent Neiß, kommt also für die chemische Industrie da in Frage, wo es — z. B. in der Ölraffination — erwünscht ist, mit hohen Heizleistungen zu arbeiten, ohne dabei die Wärme von außen auf die Gefäßwandungen übertragen zu müssen. Der Vorgang wird durch das neue Verfahren meist außerordentlich beschleunigt, so daß die Durchsätze stark erhöht werden. Dabei kann diese Heizung gleichmäßiges Anheizen, Verkürzung der Anheizdauer und des ganzen Erwärmungsvorgangs, feinfühligere Regelung und Momentanabschaltung der Wärmezufuhr als weitere Vorteile für sich buchen. Es sind bereits Einheiten bis zu 600 kW Leistung ausgeführt und in Betrieb (Abb. 23). Dabei besteht grundsätzlich keine Schwierigkeit, einen solchen Kesselschuf als Dreistoffblech, also z. B. mit einer innenliegenden rostfreien Plattierung und einer außenliegenden Kupferauflage herzustellen.

Wenn auch die Einsparung an devisenfressenden Metallen bei der Anwendung der Verbundwerkstoffe in allen Fällen ganz offensichtlich in Erscheinung tritt, so ist damit nicht etwa eine Verringerung der Herstellungskosten in Höhe des in Fortfall kommenden Metallanteils verbunden. Der Entstehungsgang geschweißter Teile aus plattierten Blechen vom Block bis zur fertigen Ausführung bringt eine Reihe zusätzlicher Aufwendungen und Arbeiten mit sich, die diesen Preisunterschied zum Teil oder ganz aufzehren können. Das ist aber nicht das Entscheidende. Vorangestellt werden muß der technische Fortschritt, der in diesem neuen Baustoff und seiner Verarbeitung unter der Hand des Schweißers sich offenbart und zu höherwertigen Konstruktionen führt. Die deutsche Technik kann stolz darauf sein, daß dieser Fortschritt mit den Forderungen des Vierjahresplanes auf gleicher Straße marschiert.

Aussprachebeiträge zur Schweißtagung

Eröffnung

Als Leiter der Schweißtagung eröffnete Herr Direktor Dipl.-Ing. C. Hase, Duisburg, die Reihe der Vorträge mit etwa folgenden Worten:

Herr Hase:

Meine Herren! Ich eröffne die heutige Tagung, veranstaltet vom Haus der Technik Essen, gemeinsam mit dem Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI, dem Verband für autogene Metallbearbeitung, Berlin, und der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung, Berlin. Wir haben ein umfangreiches Programm vor uns mit insgesamt neun Vorträgen, so daß wohl von einem Großkampftag erster Ordnung gesprochen werden kann.

Der vorbereitende Ausschuß hat aus dem immer größeren Umfang annehmenden Gebiet der Schweißtechnik einige der im Brennpunkt des Interesses stehende Fragen herausgestellt und dafür geeignete Vortragende zu gewinnen gesucht. Wir sind uns einerseits bewußt, daß diese Auswahl der Themen nicht erschöpfend sein kann, auf der anderen Seite stand uns für jedes Thema eine größere Zahl von Spezialisten zur Verfügung, von denen wir natürlich jeweils nur einen als Vortragenden bitten konnten, wobei wir zudem auf bereits früher gepflogene Verhandlungen zurückgreifen mußten. Wir hoffen jedoch, gerade von denjenigen Fachleuten, die diesmal nicht als Redner zu Wort kommen, daß sie sich an der Aussprache beteiligen und dadurch dem Bild des derzeitigen Standes der Schweißtechnik die erforderliche Abrundung geben. Das würde mit dazu verhelfen, unser Vorhaben zu verwirklichen, die heutige Tagung über eine Veranstaltung normalen Stils hinauszuhoben und ihr einen Inhalt zu geben, der unserer Arbeit auf unserem Sondergebiet Ziel und Richtung gibt. Ich darf daher die Redner und die an der Aussprache Beteiligten bitten, sich in ihren Ausführungen diesem Ziele unterzuordnen und damit unserer Tagung zu dem erhofften Erfolg zu verhelfen. Ich bitte dann als ersten Redner Herrn Dr. Rapatz, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Rapatz.

Ich sage dem Vortragenden in Ihrem Namen den verdienten Dank. Er hat eine vorzügliche, objektive Übersicht über dieses viel umstrittene Gebiet gegeben, die jeden befriedigt haben wird. Und zwar nehme ich an, daß nicht nur der Verbraucher, sondern auch der Hersteller, einerlei, aus welchem Lager er stammen möge, diese Objektivität des Vortragenden anerkennen wird.

Wir kommen zur Aussprache; das Wort hat Herr Dipl.-Ing. Brück, Eberswalde:

Herr Brück:

Herr Dr. Rapatz erwähnt die Wichtigkeit des Wurzeleinbrandes. Meiner Ansicht nach ist diese Forderung in erster Linie wohl bei V-Nähten angebracht. An Kehlnähten, wie Dr. Rapatz sie uns zeigte, ist dieser tiefe Wurzeleinbrand nicht so wichtig, wie das vielleicht scheinen möchte. Denn diese Kehlnähte, wie Dr. Rapatz sie uns zeigte, sind ja mehr oder weniger eine Kompromißlösung. Der gute Wurzeleinbrand ist meiner Ansicht nach bei Stumpfnähten ganz besonders wichtig, da aber die Kehlnaht am Kreuzstoß immer eine Kompromißlösung bedeutet — hier ist bei nicht abgeschrägtem Stehblech sowieso stets eine Kerbwirkung vorhanden —, dürfte ein kleiner Wurzelfehler von untergeordneter Bedeutung sein, da der Kräftefluß sowieso nicht geradlinig verlaufen kann. Besonders trifft dies bei der von der Reichsbahn vorgeschriebenen Kreuzprobe zu. Viel wichtiger erscheint mir ein glatter, kerbfreier Übergang von der Schweißung zum Blech, der bei der Mantelelektrode eher gegeben ist als bei der Seelenelektrode oder nackten Elektrode. Selbstverständlich soll dem schlechten Wurzeleinbrand nicht das Wort geredet werden. Zudem sind mir keine Fehler bekannt, wo bei

Mantelelektroden ein schlechter Wurzeleinbrand vorherrschend ist, falls die Wurzelschweißung mit einem Draht von nicht mehr als 3,5 mm Durchmesser durchgeführt wird. Zu der Frage der Spannung ist zu sagen, daß es spannungsfreie Schweißungen ebensowenig bei Seelendraht wie bei Manteldraht gibt, und daß die Verwerfungen bei Manteldrahtschweißungen nur auf einer Auslösung der Spannung beruhen. Herr Dr. Rapatz sprach davon, daß bei blanken Drähten keine Spannung wäre. Aber ich glaube, daß gerade diese niedrige Verwerfung ein Nichtauswirken der Spannung sein dürfte, die man eigentlich nur durch Ausglühen wieder wegbringen kann. Daß sich bei Manteldrähten das Blech wirft, ist eigentlich nichts anderes als eine Auslösung dieser Spannung. Das tritt bei Seelen- und nackten Drähten weniger auf, und dadurch täuscht man sich leicht darüber hinweg, daß bei Seelendrähten und nackten Drähten keine Spannungen vorhanden sind. Es wäre sehr erfreulich, wenn darüber die anderen Herren ihr Wissen bekanntgäben.

Herr Hase:

Ich möchte noch auf eine Beobachtung hinweisen, nämlich auf die meiner Ansicht nach unbeschränkte Lagerfähigkeit der Seelendrähte. Wenn man gezwungen ist, für die verschiedenen Zwecke ein größeres Lager zu halten, und wenn dieses nicht genügend trocken ist, dann wird man feststellen, daß die Mantelelektroden und nackten Elektroden Gefahr laufen, minderwertig zu werden. Diese Gefahr laufen die Seelenelektroden nicht. Auf diesen Vorzug ist bis jetzt noch nicht genügend hingewiesen worden. Ich bitte Herrn Dr. Rapatz, das Schlußwort zu sprechen.

Herr Dr. Rapatz:

Es ist für mich einigermaßen überraschend, zu hören, daß bei Kehlnähten guter Einbrand nicht nötig sei. Im Gegenteil, meine Überzeugung ist, daß die Schäden, die aufgetreten sind, gerade eben durch den schlechten Einbrand der Kehlnähte vorgekommen sind. Soviel ich weiß, kommen nur bei solchen Kehlnähten schlechte Ergebnisse vor. Daß bei nicht ummantelten Drähten überhaupt keine Spannungen vorkommen, hat niemand gesagt, und das kann auch nicht sein. Die Spannungen sind nur kleiner als bei Schweißungen mit ummantelten Drähten.

Herr Hase hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Seelendrähte unbeschränkt lagerfähig sind. Das ist ein außergewöhnlicher Vorteil. Noch andere Vorteile, die ich vergessen hatte, sind die der besseren Eignung für Automatschweißung.

Herr Hase:

Ich sage nochmals Herrn Dr. Rapatz und dem Diskussionsredner den Dank der Versammlung.

Meine Herren! Die Aussprache über den Vortrag „Schweißen von Leichtmetallen und ihren Legierungen“ wird mit der Aussprache über den Vortrag „Die Widerstandsschweißung in ihrer Anwendung auf Leichtmetalle“ verbunden. Ich bitte Herrn Dr. v. Rajakovics, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Rajakovics.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich möchte zunächst Herrn Dr. v. Rajakovics mein Kompliment darüber aussprechen, daß er die Vortragszeit um fünf Minuten unterschritten hat. Ich möchte auch Herrn Siemers bitten, sich in der gleichen Richtung zu bemühen, und bitte ihn, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Siemers.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich möchte auch Herrn Ingenieur Siemers meine Anerkennung aussprechen. Wir kommen zur Aussprache, ich bitte um Wortmeldungen.

Herr Sahling:

Ich möchte mir die Anfrage erlauben, ob die Leichtmetallschweißung auch im Brückenbau und im Hochbau angewendet worden ist. Soweit ich unterrichtet bin, waren Versuche beabsichtigt, aber über den Erfolg habe ich nichts gehört. Ich würde es deshalb begrüßen, wenn ich darüber noch einige Ausführungen hören könnte.

Herr von Rajakovics:

Mir ist nicht bekannt, daß beim Brückenbau oder im Hochbau Leichtmetallschweißungen ausgeführt wurden. Im Brückenbau wird Leichtmetall vorläufig noch nicht zur Anwendung kommen wegen der höheren Kosten. Die Anwendung der Leichtmetalle wird vorläufig auf jene Gebiete beschränkt bleiben, wo es sich einerseits um Gewichtsparsnis bei beweglichen Teilen, Fahrzeugen usw. handelt, und andererseits bei architektonischen Ausgestaltungen. Es ist denkbar, daß man im Laufe der Zeit auch im Brückenbau zum Leichtmetall übergehen wird.

Herr Dr. Hunsicker:

Ich möchte darauf hinweisen, daß bei den Leichtmetallen genau wie bei Stahl die Rechtsschweißung vielfach angewandt wird, so z. B. bei Hydronalium. Es lassen sich dadurch viel bessere Nahtwurzeln erzielen mit besseren Festigkeitseigenschaften, weil die schmalere Wärmeeinflußzone auch geringere Spannungen im Gefolge hat.

Herr von Rajakovics:

Zu den Ausführungen möchte ich hinzufügen, daß Rechtsschweißungen an Aluminiumlegierungen mir nicht bekannt sind, die Versuche erstrecken sich vorläufig nur auf Reinaluminium. Die Frage ist umstritten. Von einzelnen Seiten wird die Rechtsschweißung empfohlen. Sicherlich bietet sie wirtschaftlich gewisse Vorteile. Ich möchte mich aber nicht hundertprozentig dieser Ansicht anschließen.

Herr Hase:

In der letzten Zeit ist ein wesentlicher Fortschritt in der Schweißung von Magnesium dadurch eingetreten, daß es gelungen ist, nicht Wasser anziehende Flußmittel zu schaffen. Herr Dr. von Rajakovics hat die Gefahr der Salzreste erwähnt. Gerade diese Gefahr ist bei Anwendung dieses Mittels behoben.

Es ist für den Betriebsmann, der sich über das Gebiet der Leichtmetallschweißung unterrichten will, außerordentlich schwer, einen Überblick zu gewinnen. Die Angaben in der Literatur sind sehr verstreut, und es macht sehr viel Mühe, sie zusammenzusuchen und das zusammenzubringen, was man braucht. Da sind solche Vorträge, wie sie Herr Dr. von Rajakovics und vor allen Dingen Herr Siemers gebracht haben, praktisch von großem Wert. Ich danke deshalb im Namen aller den Herren für ihre wirklich guten und zusammenfassenden Ausführungen. Ich kann bei dieser Gelegenheit erwähnen, daß dieser Zustand, wie ich ihn eben geschildert habe, in kurzer Zeit eine Abänderung dadurch erfahren wird, daß von dem „Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung“ in Zusammenarbeit mit dem „Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI“ Anleitungsblätter für Schweißen von Leichtmetallen herausgegeben werden. Sie finden in diesen Anleitungsblättern das, was den Schweißer interessiert, als auch das, was den Schweißfachmann interessiert, der sich auf

diesem Gebiet orientieren will. Es ist dem Leser sehr freundlich behandelt, auch die Widerstandsschweißung, die Schweißung von Magnesium, Magnesiumlegierungen usw. Fast für jedes Kapitel sind zwei Bearbeiter eingesetzt, die sich gegenseitig ergänzen und dafür sorgen, daß wirklich jedes Gebiet umfassend behandelt wird. Das Heft wird zu einem geringen Preis herausgegeben. Ich glaube, daß es ein wirklich dringendes Bedürfnis befriedigen wird.

Meine Herren! Nach unserer Zeiteinteilung werden wir um 13 Uhr fertig sein, da für die nächsten Redner eine kürzere Redezeit vorgesehen ist. Ich bitte Herrn Oberingenieur Frankenbusch, das Wort zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Frankenbusch.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich bitte um ihr Einverständnis, daß wir sofort den letzten Vortrag des Vormittags, „Die elektrische Schienenstumpfschweißung“, anschließen. Leider ist der Vortragende, Herr Ingenieur Hoch, durch Krankheit verhindert. An seine Stelle tritt Herr Ingenieur Thies von den Siemens-Schuckert-Werken.

Es folgte Vortrag Hoch-Thies.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich bitte um Meldung zur Aussprache zu diesen beiden Vorträgen von Herrn Frankenbusch und Herrn Thies.

Herr Reitze:

Herr Frankenbusch zeigte einige Bilder, auf denen die Schweißung mit zwei Hämmern gleichzeitig gezeigt wurde. Das ist eine Schweißart beim Gasschweißen, die Vorteile mit sich bringt, auf die nicht häufig genug hingewiesen werden kann. Dieser Vorteil gilt nicht nur für die Schienenschweißung und nicht nur für die Stahlschweißung, sondern besonders auch für die Leichtmetallschweißung.

Was wollen wir mit der Schweißung überhaupt erreichen? Wir wollen eine Verbindung erzielen, in der die kennzeichnenden Eigenschaften des Grundwerkstoffes wiederkehren. Der Inhalt dieses Satzes hat so fundamentale Bedeutung, daß man ihn immer wiederholen sollte und daß man ihn jedem Vortrag über Schweißtechnik voranstellen könnte. Dadurch wird die Frage der Wärmezufuhr und anderes mehr immer eine sekundäre Bedeutung haben. Bei der Senkrecht-nach-oben-Schweißung oder der Vorbereitung kann die Nahtabschrägung usw. vernachlässigt werden. Bei dem Vortrag von Herrn Dr. von Rajakovics wurde sehr schön gezeigt, daß Bleche bis zu einer Blechstärke von 3 bis 5 mm im V-Stoß, stärkere Bleche im X-Stoß abgeschrägt werden sollen. Das ist etwa richtig bei der Waagrecht-Schweißung. Bei der Senkrecht-nach-oben-Schweißung kommt man bei Stahl bis zu einer Stärke von 15 mm etwa, und bei der Aluminiumschweißung bis zu einer Stärke von 20 mm ohne Abschrägung aus, wenn von beiden Seiten gleichzeitig geschweißt wird. Wir sind uns darüber klar, daß beim Schweißen die Wärme nur ein notwendiges Übel ist. Bei der Senkrecht-nach-oben-Schweißung kommt man gerade bei der Gasschweißung mit bedeutend weniger Wärme aus als bei der normalen einseitigen Schweißung. Bei einem Blech von 15 mm Dicke ist bei spielsweise ein Brenner notwendig mit einem Gasverbrauch von etwa 1500 Liter pro Stunde. Bei der Senkrecht-nach-oben-Schweißung mit zwei Brennern ist ein Gasverbrauch von je 500 bis 600 Liter pro Stunde notwendig. Das wirkt sich auch auf die Schweißwulst aus. Die Schweißwulst soll allmählich verlaufen, es soll ein allmählicher Übergang vorhanden sein. Auf diesem Gebiet wird gerade bei der Gasschweißung noch viel gesündigt. Wir hören es immer wieder, daß beispielsweise im Rohrleitungsbau von den Vorgesetzten ver-

langt wird, daß eine starke Überhöhung der Schweißwulst verlangt wird. Das ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß angenommen wird, daß durch eine dickere Schweißwulst der Festigkeitsabfall ausgeglichen wird. Das ist nur zum Teil richtig.

Herr Brück:

Ich kann das, was der Vorredner gesagt hat, nur unterstreichen. Ich habe gerade beim Rohrleitungsbau die Erfahrung gemacht, daß viel zu starke Schweißwulste vorhanden sind. Diese werden meistens von Leuten verlangt, die keine Ahnung haben.

Herr Hase:

Ich danke den beiden Herren für ihre Ausführungen, die uns ein abgerundetes und vollkommenes Bild der beiden für die Schienenschweißung in Betracht kommenden Verfahren gegeben haben. Die Abgrenzung zwischen beiden, dem autogenen und dem elektrischen Verfahren, ist eigentlich auch eine ganz natürliche. Die Autogenschweißung benutzt man auf der Strecke, und die elektrische Schweißung benutzt man im Betrieb, wo man solche Maschinen aufstellen kann. Herr Frankenbusch hat hervorgehoben, daß die Deutsche Reichsbahn auch schon verschiedene hundert Stoßschweißungen ausgeführt und seit Jahren in Betrieb hat. Erklärlicherweise wird sie mit dem geschweißten Schienenstoß nur sehr langsam vorgehen, mit Rücksicht auf die hohe Verantwortung, die sie für die Sicherheit der Reisenden trägt. In den Industrieunternehmen sollte man sich das, was uns hier über die Schienenschweißung gesagt worden ist, besser zu Herzen nehmen, da dort nicht solche Risiken getragen werden müssen, wie das bei der Reichsbahn der Fall ist. Sie würden ihren Kränen und nicht zuletzt auch ihren Kranführern eine außerordentliche Wohltat erweisen, wenn sie mehr dazu übergehen würden, die Schienenstöße der Kranbahnen zu schweißen. Ich danke nochmals den beiden Vortragenden und auch den Ausspracherednern. Das Wort hat noch Herr Schmitz von den Deutschen Eisenwerken:

Herr Schmitz:

Ich möchte zum Schweißen der Kranbahnschienen sagen, daß dieses sich doch nicht immer so ohne weiteres durchführen läßt. Die Kranbahnen liegen fest aufgenietet auf der Bahn. Wenn ich nun den Stoß löse und schweiße ihn, muß ich ihn etwas heben und durchdrücken, sonst reißt er nachher wieder vollständig ein. Die Erfahrungen haben das soundso oft gezeigt.

Herr Frankenbusch:

Das stimmt schon. Man muß eben, wenn die Kranbahnen genietet sind, ungefähr rechts und links auf je einen Meter entnieten, wodurch man den auftretenden Schrumpfkraften genügend Raum zur Auswirkung gibt.

Herr Hase:

Damit wäre die Vormittagssitzung beendet. Ich darf Sie bitten, heute nachmittag pünktlich zu erscheinen, damit wir auch pünktlich schließen können, da einige Herren von auswärts ihre Züge erreichen möchten.

*

Herr Hase:

Meine Herren! Ich eröffne den zweiten Teil unserer Tagung und bitte Herrn Direktor Hauttmann, Oberhausen, das Wort zu seinem Vortrag zu ergreifen.

Es folgte Vortrag Hauttmann.

Herr Risch:

Ich habe eine Frage an den Vortragenden. Es wäre interessant und ist mir nicht ganz klar, in welcher Weise

die feinsten Anrisse in der Einflußzone, die zwischen Schweißgut und unbeeinflusstem Material liegen, festgestellt worden sind? Hat man sie durch plötzliche Absenkung der Biegelast an der Biegeeinrichtung festgestellt?

Herr Dr. Jurczyk:

Die St-52-Proben, die hier gezeigt worden sind, haben zum Teil an der Schweißnaht schlagartige Risse aufgewiesen. Das ist besonders unangenehm und gefährlich. Es sind deshalb verschiedene andere Mittel angewandt worden, um diese Schwierigkeit zu beheben. So z. B., indem man vorgeschrieben hat, die Profile vor dem Schweißen zu glühen. Dadurch wurde erreicht, daß man beim Biegen und Verformen wenigstens dieses schlagartige Durchbrechen durch den ganzen Querschnitt vermied. Man hat erreicht, daß in dieser Längsnaht niemals Risse eingetreten sind, die allmählich in das Innere übergangen. Also man hat wenigstens die gefährlichen Brüche vermieden, die zur Zerstörung führen konnten. Es gibt demnach ein Mittel konstruktiver Art, wenn man nämlich diesen Versuch mit einem breiten flachen Blech macht, 50 mm Stärke und 200 mm Breite und die Längsnaht statt in die Mitte an die Seite legt. Prüft man dieselbe Probe, dann hält diese wesentlich höhere Biegewinkel, wesentlich höhere Verformungen aus, ehe ein Bruch eintritt.

Herr Hauttmann:

Die Frage, wie wir die Risse in der Übergangszone ermittelt haben, ist folgendermaßen zu beantworten. Wir haben an einer großen Anzahl von Biegeproben Verformungen vorgenommen, und zwar schrittweise eine Probe mit ein Grad, zwei Grad, drei Grad, vier Grad usw. Nach dieser Verformung wurden die Proben durchgeschnitten und auf Risse abgesucht. Das war wohl die einwandfreieste Art, derartige Risse festzustellen.

Ich zeige hier noch einmal das Bild, auf dem der Einfluß der Wärme dargestellt ist. Dies Bild scheint dem Herrn Diskussionsredner entgangen zu sein.

Die Möglichkeit, durch normales Biegen die Ergebnisse der aufgeschweißten Probe zu verbessern, habe ich nur so zwischen den Zeilen gestreift, als ich sagte, daß den Metallurgen eine Reihe von Mitteln bekannt sind, um die Biegewinkel zu verbessern. Indessen haben wir und andere Werke beobachtet, daß die Erhöhung der Biegewinkel wohl eintritt, aber die Winkel, bei denen die ersten Anrisse zu beobachten sind, sind bei den mit Aluminium oder durch geeignete Schmelzführung behandelten Stahl ungefähr gleich. Man kann also, wenn der Biegewinkel als Vorschrift gestellt wird, mit dem normalen Biegen leichter durch die Vorschriften kommen. Wir sehen den Erfolg eigentlich erst dann, wenn es gelingt, die Winkel oder die Verformung zu erhöhen, bei der noch keine Innenrisse zu beobachten sind.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich schließe die Aussprache dieses Vortrages und danke Herrn Direktor Hauttmann für seine Ausführungen. Er hat aus der reichen Fülle seiner Erfahrungen eine große Anzahl von Anregungen gegeben, die alle diejenigen, die sich mit dieser Frage befassen, veranlassen werden, weitere Untersuchungen und Beobachtungen anzustellen. Interessant war vor allem für mich, daß gegenüber einer früheren Äußerung eines sehr maßgebenden Herrn, es handelte sich hier um ein rein metallurgisches Problem, eine Darstellung auch aus anderen Gesichtspunkten gegeben wurde.

Ich bitte Herrn Oberingenieur Stehr das Wort zu ergreifen. Es folgte Vortrag Stehr.

Herr Hase:

Ich danke Herrn Oberingenieur Stehr. Das Wort hat Herr Dr. Werner, Leverkusen.

Herr Dr. Werner:

Meine Herren! Aus diesen Ausführungen von Herrn Oberingenieur Stehr habe ich doch kennengelernt, daß derjenige, der verantwortliche Rohrschweißungen durchzuführen hat, die hohe Betriebsdrücke auszuhalten haben, dafür sorgen muß, daß eine gewisse Überhöhung in der Schweißung durchgeführt wird, damit etwas Reserve vorhanden ist. Vor allem, wo uns im Bild zum erstenmal gezeigt wurde, welche Toleranzen zugelassen sind, so daß durch die Toleranz unter Umständen Kerbwirkungen infolge einer nicht genügend durchgeschweißten Rohrschweißung entstehen können. Es ist eigentlich damit das widerlegt, was vorhin gesagt worden ist, warum der verantwortliche Rohrbaumann solche Überhöhungen fordert. Sehr schwierig war bisher bei uns die Verschweißung von drei Werkstoffkanten an einer Schweißung. Ich habe hier gesehen, daß durch die Einlagerung wiederum drei Werkstoffkanten aneinandergeschweißt wurden. Wir haben uns schon früher bei ähnlichen Ausführungen sehr viel Kopferbrechen gemacht. Meine Herren, es war sehr schwer, wenn wir ohne Durchglutung des Werkstoffes mit der Schweißflamme bis auf den Grund vorstoßen wollten. Ich muß auch hier annehmen, daß hochwertige Schweißer an die Arbeit gesetzt werden, die solche Ringe, also drei Werkstoffkanten an einer Stelle, verschweißen können.

Herr Weckwerth:

Herr Stehr, vielleicht können Sie das viertletzte Bild noch einmal bringen lassen. (Es wird das betreffende Bild gezeigt.) Ich freue mich, daß endlich auch einmal für den Einlegering gesprochen worden ist, und den letzten Worten des Redners darf ich vielleicht bei dieser Gelegenheit etwas widersprechen. Die Schwierigkeit, die tatsächlich besteht und die immer wieder festgestellt worden ist, liegt darin, daß der Schweißer nicht den Mut hat, durchzuschweißen. Dann entstehen Schäden, die Sie trotz des Einlegerings links oben sehen. Ich bin fest überzeugt, diesem Schweißer, der das gemacht hat, ist seit Jahren vorgepredigt worden, daß er ja nicht durchschweiße, damit der Durchmesser des Rohres nicht vermindert wird. Seitdem der Einlegering bei uns eingeführt ist, sind solche Sachen bei uns nicht mehr vorgekommen. Ich darf nun aber die Begründung des Einlegerings durch Zahlen belegen. Herr Stehr sagt, daß von Hauttmann festgestellt worden ist, daß die Dauerwechselfestigkeit der gut durchgeschweißten Rohre besser ist als die Dauerwechselfestigkeit mit Einlegering. Das ist richtig. Das konnte ich auch erneut bestätigen. Aber Sie dürfen aus den Gründen, die ich eben sagte, Schweißungen mit Einlegering nicht mit Schweißungen vergleichen, die ausgezeichnet durchgeschweißt sind. Sondern nach den Erfahrungen der Praxis müssen Sie tatsächlich Schweißungen mit Einlegeringen, die durchgeschweißt sind, mit solchen ohne Einlegering vergleichen, die aber nicht durchgeschweißt sind. Die Zahlen, die ich jetzt nenne, werden vielleicht auf ein Kilogramm nicht stimmen, da ich sie aus dem Kopf gebe. Die Dauerwechselfestigkeitswerte bis drei Millionen Wechsel, die wir festgestellt haben, sind etwa bei der Abschmelzschweißung 21 bis 22 kg, bei der wirklich guten Schweißung ohne Einlegering 20 kg, bei der guten Schweißung mit Einlegering 16 bis 17 kg, allerdings ohne Berücksichtigung des Beispiels, das Herr Stehr gezeigt hat, das von Borsig stammt, bei einer schlecht durchgeschweißten Naht — und diese müssen wir mit dem Einlegering vergleichen — 11 oder 10 kg und bei der sogenannten Lippe 8 bis 9 kg pro Quadratmillimeter. Diese Zahlen beweisen meiner Ansicht nach ganz eindeutig, daß, wenn der Schweißer Angst hat, durchzu-

schweißen, der Einlegering dann ganz gewartige Vorteile bietet, ganz bestimmt aber überlegen ist der sogenannten Lippen- oder Y-Naht. Für mich persönlich besteht kein Zweifel, daß wir beim Einlegering bleiben werden.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich war erstaunt über die guten Werte der Schweißung mit Einlegering, die Oberingenieur Stehr bekanntgegeben hat. Autogenschweißte Lippen konnten so weit überschürzt werden, daß sogenannte Schweißlösen entstehen. Wenn plötzlich der Grund verbaut ist, dann verlangt das eine ganz besondere Übung, verlangt das ein ganz anderes Schweißen, als man es sonst ausführt. Denken Sie z. B. an die Drei-Bleche-Naht. Zwei Bleche stoßen horizontal aneinander, das dritte Blech stößt frei dagegen. Ein einwandfreies Verschweißen dieser Drei-Bleche-Naht ist dadurch möglich, daß man an dieser Naht Fugen gelassen hat, durch die die Schweißflamme durchstreichen kann. Erst dadurch wurde die Drei-Bleche-Schweißnaht zu einem vollwertigen Element. Deswegen bin ich über die guten Ergebnisse erstaunt und die geringen Auswechsel, die Oberingenieur Stehr festgestellt hat. Wie gesagt, das verlangt eine besondere Übung des Schweißers.

Herr Stehr:

Meine Herren! Ich kann mich kurz fassen. Herr Dr. Werner hat meine Ausführungen noch erweitert. Ich danke Ihnen für die Werte. Ich wollte sie nicht alle bringen. Aber auch wir sind schon häufig zu der Überzeugung gekommen, daß der von uns betretene Weg der richtige ist.

Herrn Weckwerth möchte ich sagen, daß in bezug auf die Überhöhung der Schweißung nicht zu weit gegangen werden darf. Es gilt auch hier der alte Grundsatz, daß zu jähe Übergänge zusätzliche Spannungen hervorrufen, und die wollen wir doch vermeiden. Zu der Dreikantverschweißung ist zu sagen, daß es sich hier um die Verschweißung dreier sauber abgearbeiteter Kanten handelt, die ein Autogenschweißer, allerdings hoher Qualität, ausgeführt hat.

Herr Hase:

Ich danke Herrn Oberingenieur Stehr für seine Ausführungen, die vor allem auch dem Konstrukteur durch die zahlreichen Skizzen der Anschlüsse, die teilweise in dieser Zusammenstellung, wie er sie hier gebracht hat, ganz neu sind, besonders wertvoll sein werden. Auch der Betriebsfachmann ist voll auf seine Kosten gekommen.

Als nächster Redner spricht Herr Professor Kritzler über das „Gußeisenschweißen im Maschinenbau“.

Es folgte Vortrag Kritzler.

Herr Hase:

Ich danke Herrn Professor Kritzler für seinen Vortrag. Herr Kreyenberg hat das Wort hierzu gewünscht.

Herr Kreyenberg:

Meine Herren! Herr Prof. Kritzler hat sehr ausführlich das Gebiet der Gußeisenschweißung besprochen und zum Schluß seiner Ausführungen darauf hingewiesen, daß, so hoffen wir, in Zukunft die Gußeisenschweißung auch von der Lichtbogenseite her und der praktischen Seite her noch etwas stärker erfaßt werden kann, als das bisher möglich gewesen ist. Es wurde in den Ausführungen von Prof. Kritzler auch besprochen, daß mit hochnickelhaltigen Elektroden die Lichtbogenschweißung möglich und gute Verbindungen zu erzielen seien. Nach wie vor ist natürlich die Verbindung von Guß durch hochnickelhaltige Elektroden ein Behelf. Das Natürliche wäre, mit Gußeisenschweißstäben Gußeisen zu schweißen, um ein Schweißgut zu erzielen, das in seiner Zusammensetzung dem Grundmaterial weitgehend entspricht. Allen entgegengesetzten Meinun-

gen zum Trotz ist an dieser Aufgabe in den letzten Jahren gearbeitet worden, und zwar mit gutem Erfolg, und es stehen heute Elektroden zur Verfügung, die einwandfrei Gußeisen-Kaltschweißungen an normalem Gußeisenmaterial ermöglichen. Die Versuche sind durchgeführt worden mit normalen guten Gußschweißstäben. Eine gut aufgebrachte, sehr starke Umhüllung hat in erster Linie die Aufgabe, den Schweißvorgang zu ermöglichen, und was Herr Prof. Dr. Kritzler besonders ausführte, den Grundwerkstoff hinreichend aufzuschmelzen, außerdem jene Stoffe anzulegen oder jene Stoffe zu ersetzen, die beim Übergang des Schweißgutes durch den Lichtbogen verlorengehen, und jene Stoffe anzulegen, die notwendig sind, um ein einwandfreies Schweißgut zu erzielen und graphitfreie harte Übergangszonen zu vermeiden. Da die graphitierende Wirkung von Silizium in der kurzen bis zur Erzielung der Schmelze zur Verfügung stehenden Zeit nicht ausreichte, mußten wirksamere Graphitbildungsmittel verwendet werden. Das erzielte Ergebnis ist überraschend gut. Bei einer Stromdichte von ungefähr 10 Ampere/mm² gelingt die Bindung mit dem Grundmaterial ohne jede Vorwärmung vom Beginn einer Schweißung an. Dabei ist die Schweißung absolut dicht, ohne Gasblasen und Schlackeneinschlus. Die Farbe der Schweißung entspricht der Farbe des Grundmaterials, und die Schweißstelle selbst gleicht in den Eigenschaften vollkommen denen des Grundstoffes. Es sind Härteproben durchgeführt worden, die zeigen, daß an keiner Stelle eine wesentliche Aufhärtung eingetreten ist.

Es folgt eine Reihe von Bildern.

Meine Herren! Es ist hier versucht worden, von der praktischen Seite her das Problem der Lichtbogen-Gußeisen-Schweißung, das in den meisten Fällen unbefriedigend ist, zu lösen. Wir sind uns darüber klar, daß damit das Problem noch nicht endgültig gelöst sein kann und daß noch eine ganze Reihe von Fragen an uns herantreten werden. Aber wenn es allein schon nach diesem Verfahren gelingt, die immer noch erheblichen Ausschufmengen, die täglich im Gießereibetrieb anfallen, herabzusetzen, dann, glaube ich, hat dieses Verfahren heute schon seine Berechtigung.

Herr Dr. Kritzler:

Es ist sehr interessant, daß das Silizium nicht die Hauptschuld bei der Graphitbildung hat. Ich kann meine Neugierde nicht ganz bremsen und möchte eigentlich gerne wissen, was die Graphitbildung da so fördert. Meine Herren! Die unterschiedliche Gefügebildung erklärt sich natürlich daraus, daß vorhin ein Gußeisen gewählt war und ein Werkstoff, welcher sehr hoch an Kohle und Silizium war. Sicherlich ist es wertvoll, wenn wir auch bei der elektrischen Schweißung bei Verwendung von Gußeisen mit Zusatzwerkstoffen arbeiten könnten. Ob wir damit den Ausschuf in den Gießereien stark vermindern würden, weiß ich nicht, aber für Reparaturen scheint es mir außerordentlich wesentlich. Der Ausschuf in den Gießereien ist gar nicht so schlimm, und wenn wir da anfangen würden, außer Schönheitsfehlern zu beseitigen, Festigkeits- und Konstruktionschweißungen durchzuführen,

dann würden die Abnehmer Schwierigkeiten machen. Vor allem bleibt bei allen Verfahren immer wieder die Schwierigkeit, daß das eingespannte Stück nie anders als warm zu schweißen ist.

Herr Hase:

Ich danke Herrn Prof. Kritzler ebenso wie dem Ausspracheredner. Es ist durch diese Ausführungen das schwierige Kapitel der Gußeisenschweißung und der Reparaturschweißung nach jeder Hinsicht aufgehellert worden, das immer wieder, auch die erfahrenen Fachleute, vor unangenehme Überraschungen und neue Rätsel stellt. Man liest manchmal in den Anpreisungen der Zeitungen, daß es möglich ist, ein Stück vollkommen spannungsfrei zu schweißen; das stimmt nicht. Die Kunst besteht darin, den Verzug, der durch die Spannungen entsteht, an Stellen zu legen, die nicht von Wichtigkeit sind, wo also die Verformung sich nicht störend bemerkbar macht.

Herr Stehr:

Meine Herren! Wir kommen zum letzten Thema: „Das Schweißen von plattierten Blechen.“ Herr Direktor Hase spricht.

Es folgte Vortrag Hase.

Herr Stehr:

Meine Herren! Es ist für jeden Techniker eine Herzensfreude, wenn er an die Werkstoffersparnis durch dieses Verfahren denkt. Es ist Herrn Direktor Hase in ausgezeichneter Form gelungen, uns die Schweißtechnik dieser Werkstoffe nahezubringen. Ich eröffne die Aussprache.

Herr Schäfer:

Meine Herren! Zur Abrundung des Vortrages von Herrn Direktor Hase möchte ich Ihnen einige Beispiele von Apparaten zeigen, die wir in unserem Werk in Berlin hergestellt haben. Und zwar ist dieses Beispiel besonders schön. Wir mußten diese Wanne, die in der Fettsäureindustrie eine Rolle spielt, bisher aus Phosphorbronze herstellen. Es ist uns gelungen, diese Wanne aus remanitplattiertem Material anzufertigen, wodurch wir einmal an teurer Bronze sparten und zum anderen aber auch stark an Gewicht heruntergingen. Da diese Wanne sehr viel von uns ins Ausland geliefert wurde, spielte die Frachtersparnis eine große Rolle.

Es folgen noch weitere Bilder mit kurzen Erläuterungen.

Herr Dr. Werner:

Für die Drucklegung rege ich an, die genannten Plattierungswerkstoffe genau zu definieren, und nicht allgemein von Remanit, sondern von den einzelnen Remanitarten zu sprechen, wie beispielsweise: 17 10 oder 18 80, ähnlich wie bei Krupp, wo die Stähle V 2 A oder V 4 A eine ganz bestimmte Stahlzusammensetzung bedeuten.

Herr Hase:

Meine Herren! Ich hoffe, daß Sie alle von hier mit guten Eindrücken hinweggehen werden, und daß vielleicht übers Jahr wieder in Ihnen der Wunsch auftauchen wird, eine solche Schweißtagung zu wiederholen. Ich hoffe auch, daß die Übersicht, die wir hier mit diesen neun Vorträgen gegeben haben, im großen und ganzen Ihren Wünschen entsprochen hat. Jedenfalls danke ich Ihnen allen für die Aufmerksamkeit, die Sie den Vortragenden und den Ausspracherednern entgegengebracht haben.

Zugänge der Bücherei des Hauses der Technik

- Albrecht, Richard:** Elektrische Akkumulatoren und ihre Anwendung. Leipzig 1937. M. Jänecke. 159 S. mit 82 Abb. 8° [4051]
- Bayer, Fritz:** Gasanalyse. Neuere Methoden der Arbeitspraxis unter Berücksichtigung der physiologischen Wirkungen der Gase. Stuttgart 1938. F. Enke. IX, 175 S. mit 41 Abb. 8° [G 4240]
- Berger, Werner:** Hausbesitzer und Einkommensteuer. Eine Zusammenstellung der den Hausbesitzer angehenden einkommensteuerrechtlichen Vorschriften. Bonn 1938. W. Stoffel. 45 S. 8° [4172]
- Bericht** über die Tagung „Heimische Treibstoffe“, Nürnberg, Oktober 1936. Steinkohlenschwelung. Verwendung heimischer Treibstoffe. Veranstaltet vom Amt für Technik der NSDAP., Gau Franken. Nürnberg 1936. J. L. Stich. 109 S. mit 40 Abb. 4° [A 4272]
- [Berichte]** Elektrotechnische Berichte. Unter Mitwirkung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker hrsg. von Franz Moeller. Bd 1—6. Berlin 1937—1938. J. Springer. 8° [E] 11
- Bertram, Walther:** Jacob Mayer, der Erfinder des Stahlformgusses. Zur 125. Wiederkehr seines Geburtstages am 1. Mai 1938. Berlin 1938. VDI-Verlag. V, 71 S. mit Abb. u. 1 Taf. 8° [4162]
- Bewig, Georg:** Höhere Mathematik ganz leicht! Leipzig 1937. M. Jänecke. 92 S. mit 36 Abb. 8° [4173]
- Block, Walter:** Handbuch der technischen Meßgeräte. Berlin 1923. Ausschuf für wirtschaftliche Fertigung. 392 S. mit 88 Abb. 8° [G 4004]
- Börger, Willi:** Vom deutschen Wesen. Würzburg 1938. K. Triltsch. III, 158 S. 8° (Schriften zum deutschen Sozialismus. H. 1.) [4243]
- Borchers, Wilhelm:** Die elektrischen Öfen. Erzeugung von Wärme aus elektrischer Energie und Bau elektrischer Öfen. 4. Aufl. Halle (Saale) 1923. W. Knapp. I, 238 S. mit 484 Abb. im Text u. auf 3 Taf. 4° [EA 4237]
- Buchhold, Theodor:** Elektrische Kraftwerke und Netze. Berlin 1938. J. Springer. VII, 430 S. mit 518 Abb. 8° [E 4233]
- Burch, C. R., and N. Ryland Davis:** An Introduction to the theory of eddy-current heating. London 1928. E. Benn. 72 S. mit 14 Abb. u. 1 Taf. 8° [E 4212]
- Cremers, Paul Joseph:** Essen. Berlin 1937. Deutscher Kunstverlag. 92 S. mit Abb. 4° (Deutsche Lande — deutsche Kunst.) [A 4244]
- Däbritz, Walther:** E. Matthes & Weber A.G., Duisburg. Die Entwicklung einer chemischen Fabrik in 100 Jahren 1838 bis 1938. Duisburg 1938. E. Matthes & Weber. 208 S. mit Abb. u. Taf. 4° [A 4207]
- Dechema-Monographien.** Hrsg. von der Deutschen Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen. Bd 9 (= Nr 81-88). 3 Vorträge zum Thema: Forschung auf dem Gebiete des chemischen Apparatewesens. — 4 Vorträge zum Thema: Elektrowärme in der chemischen Technik. — 1 Abhandlung Wolf Mehner: Gasausscheidung als Ursache des Füllereffektes. Berlin 1937. Verlag Chemie. I, 169 S. mit 99 Abb. 8° [J 8]
- Dezimalklassifikation.** Deutsche Gesamtausgabe. Bearb. vom Deutschen Normenausschuß. 3. internationale Ausg. der Dezimalklassifikation. Lfg 1 u. 3. Berlin 1934—1937. Beuthverlag. 4° [EA 4209]
- Lfg 1. Einleitung. Hilfstafeln. Abt. O: Allgemeines. Abt. 1: Philosophie. Abt. 2: Religion. 1934. 147 S.
- Lfg 3. Abt. 5: Mathematik, Naturwissenschaften. 1937. 248 S.
- Dezimalklassifikation.** Deutsche Ausgabe. Nach der 2. Ausg. der Dezimalklassifikation Brüssel 1927/1929 bearb. im Auftrage des Deutschen Normenausschusses. A b t. 6 6 6. Glas, Keramik, Email, Kunststeine, Zement (Gesteinsüttenkunde). Berlin 1933. Beuthverlag. 27 S. 4° [EA 4210]
- Dezimalklassifikation.** Deutsche Ausgabe. Bearb. nach der 2. Ausg. der Dezimalklassifikation Brüssel 1927/1929. Hrsg. im Auftrage des Deutschen Normenausschusses von der Aluminiumzentrale, Berlin. A b t. 6 6 9. 71. Aluminium (mit Auszügen aus Nachbargebieten). Berlin 1937. Aluminiumzentrale, Abt. Literar. Büro u. Beuthverlag. 56 S. 4° [EA 4211]
- Dingler, Hugo:** Die Methode der Physik. München 1938. E. Reinhardt. 422 S. 8° [4249]
- Dominik, Hans:** Fritz Werner A. G., Berlin. 2. Aufl. Leipzig 1938. J. J. Arnd. 118 S. mit 156 Abb. im Text u. auf Taf. 8° [4250]
- Eiser, Ernst:** Energiewirtschaftsrecht. Energiewirtschaftsgesetz mit den Durchführungsbestimmungen, Nebengesetzen, Verordnungen, Erlassen. Mit Erl. München 1937. C. H. Beck. Gefr. Pag. 8° (In Loseblattbuchform.) [4174]
- Esser, Wilhelm, u. Otto Krischer:** Die Berechnung und Auskühlung ebener und zylindrischer Wände (Häuser und Rohrleitungen). Theorie und vereinfachte Rechenverfahren. Berlin 1930. J. Springer. II, 88 S. mit 22 Abb. und 1 Taf. 4° [A 4047]
- Feldmann, Paul:** Handbuch des Schleifers. Gütesteigerung von Werkstück und Werkzeug durch richtiges Schleifen. Leipzig 1937. M. Jänecke. 98 S. mit 97 Abb. 8° [4175]
- Fischer, Johannes:** Einführung in die klassische Elektrodynamik. Berlin 1936. J. Springer. VIII, 199 S. mit 120 Abb. 4° [EA 4208]
- Fischer, Rudolf:** Über Versuche zum Tiefziehen von Messingblech (Ms 63 weich). Würzburg 1937. K. Triltsch. V, 82 S. mit 23 Abb. 8° [4252]
- Flügel, Richard:** Die gesamte Schutzbehandlung des Bauholzes. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 119 S. mit 50 Abb. 8° [4253]
- Freytag, Hermann, u. Otto Most:** Duisburg. Berlin 1937. Verlag für Sozialpolitik. 120 S. mit 60 Abb. 8° [4176]
- Frietsch, Ernst:** Wirbelbildung und Kräftewirkung an umlaufenden Kreiselradschaufeln. Berlin 1937. VDI-Verlag. 28 S. mit Abb. 4° (VDI-Forschungsheft. 384.) [A 4119]
- Geisler, Kurt W.:** Unsere Verbrauchsgüter und ihre Herstellung. Ein technologisches Lesebuch. Berlin 1935. VDI-Verlag. IV, 177 S. mit 117 Abb. 8° [G 4280]
- Gerdes, H.:** Die Seeschleusen der III. Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven und ihre gründliche Instandsetzung in den Jahren 1934—1937. Berlin 1938. J. Springer. 57 S. mit 127 Abb. 4° (S.-A. aus: Jahrbuch der Hafentechnischen Gesellschaft. Bd 16.) [A 4273]
- [Gestaltung]** Werkstoff sparende Gestaltung. Erläuterungen zu den TWL-Glasbildreihen 481—486. Aus der Gemeinschaftsarbeit TWL/RKW. Hrsg. von der Technisch-Wissenschaftlichen Lehrmittelzentrale. Berlin 1938. Beuthvertrieb. 91 S. mit Abb. 8° [4177]
- Gildehus, Jan:** Der Stellenwechsel. Die Stellenbewerbung im technischen Beruf. Leipzig 1938. M. Jänecke. 48 S. 8° [4178]
- Grabig, Hans:** Die mittelalterliche Eisenhüttenindustrie der Niederschlesisch-Lausitzer Heide und ihre Wasserhämmer. Eine geschichtlich-technische Untersuchung. Breslau 1937. Heydebrand. 95 S. mit 16 Taf. 8° [4256]
- Gringel, Karl:** Einführung in die Radiotechnik. Wittenberg 1938. R. Herrosé. 32 S. mit 56 Abb. 8° [4179]
- Gruber, Artur:** Technisches Zeichnen. Eine Anleitung zum Anfertigen technischer Zeichnungen. 2. Aufl. Ravensburg 1938. O. Maier. 81 S. mit Abb. u. 1 Taf. 8° [4167]
- Grün, Richard:** Der Beton. Herstellung, Gefüge und Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Einwirkungen. 2. Aufl. Berlin 1937. J. Springer. XV, 498 S. mit 261 Abb. im Text u. auf 2 Taf. 8° [4067]
- Günther, Hanns:** Das große Fernsehbuch. Die Entwicklung des Fernsehens von den Grundlagen bis zum heutigen Stand. Stuttgart 1938. Franckh. III, 192 S. mit 268 Abb. 4° [A 4274]
- Günther, Hans:** Grundlagen der elektrischen Meßtechnik für Funkbastler, Funktechniker und Funkingenieure. Stuttgart 1938. Franckh. 63 S. mit 61 Abb. 4° [A 4275]
- Günther, Hanns, u. Heinz Richter:** Schule des Funktechnikerns. Ein Hilfsbuch für den Beruf mit besonderer Berücksichtigung der Rundfunktechnik. 2 Bde. Stuttgart 1937—1938. Franckh. 8° [4139]
- Bd 1. Grundlagen. 1937. IV, 267 S. mit 226 Abb.
- Bd 2. Rechenverfahren und Sonderfragen. 1938. VIII, 243 S. mit 159 Abb.

- Guertler, William, u. W. Leitgeb**: Vom Erz zum metallischen Werkstoff. Leitlinien und Rüstzeug der metallurgischen und metallkundlichen Wissensgebiete. Leipzig 1929. Akademische Verlagsgesellschaft. XXIII, 426 S. mit 176 Abb. 8⁰ [E 4234]
- Haberland, Gustav, u. Fritz Haberland**: Mechanik. Statik und Dynamik der festen Körper und der Flüssigkeiten und Festigkeitslehre. 6. Aufl. Leipzig 1938. M. Jänecke. VIII, 232 S. mit 238 Abb. 8⁰ [4257]
- Hänchen, Richard**: Berechnung der geschweißten Maschinenteile auf Dauerhaltbarkeit. Braunschweig 1938. F. Vieweg. 46 S. mit 55 Abb. 8⁰ (Aus Theorie und Praxis der Elektroschweißung. H. 7.) [4180]
- Handbuch der technischen Elektrochemie**. Hrsg. von Victor Engelhardt. Bd 3. Die technische Elektrolyse im Schmelzfluß. Leipzig 1934. Akademische Verlagsgesellschaft. IX, 565 S. mit 183 Abb. 8⁰ [E 4235]
- Hansen, Otto**: Untersuchungen über den Einfluß des endlichen Schaufelabstandes in radialen Kreisrädern. Würzburg 1937. K. Triltsch. VI, 81 S. mit 102 Abb. 8⁰ [4258]
- Hasse, Karl**: Die Bürgersteuer. Planmäßige Nachprüfung der Steuerberechnung, Befreiungs- und Ermäßigungsmöglichkeiten, Bürgersteuertabellen. 3. Aufl. Bonn 1937. W. Stoffluf. 45 S. 8⁰ [4181]
- Hederich, Hans**: Der Lizenzvertrag, erläutert an Beispielen aus der Rechtspraxis. 14. Aufl. Berlin 1937. Chemisch-technischer Verlag Dr. Bodenbender. 70 S. 8⁰ [4182]
- Heep, Peter**: Die Lohnsteuer. Was Arbeitgeber und Arbeitnehmer von der Lohnsteuer sowie der vom Arbeitslohn zu berechnenden Wehrlohnsteuer, Bürgersteuer und Kirchensteuer wissen müssen! 2. Aufl. Bonn 1938. W. Stoffluf. 46 S. 8⁰ [4183]
- Heldt, Peter Martin**: Schnellaufende Dieselmotoren für Kraftwagen, Flugzeuge, Schiffe, Eisenbahnen und industrielle Zwecke. Berlin 1937. R. C. Schmidt. III, 257 S. mit 228 Abb. 8⁰ [4073]
- Heyne, Gerhard**: Focke-Wulf L 102. Flugzeugmodell, frei fliegend. Beschreibung und Bauplan. Ravensburg 1937. O. Maier. 8 S. mit 3 Taf. 8⁰ [4259]
- Hilbert, Heinrich**: Stanzertechnik. Bd 1. Schneidende Werkzeuge. München 1938. C. Hanser. 238 S. mit Abb. 8⁰ [4185]
- Hofmann, Richard**: Der Flugzeugschlosser. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 110 S. mit 112 Abb. 8⁰ [4163]
- Holler, Hermann**: Leitfaden für Autogenschweißer. 13. Aufl. des Leitfadens für Azetylschweißer von Theod. Kautny u. Hermann Holler. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. X, 304 S. mit 371 Abb. 8⁰ [4164]
- Huth, Friedrich Hermann**: Wirtschaftlicher Fabrikbetrieb. Berlin 1938. O. Elsner. X, 317 S. mit 82 Abb. 8⁰ [4186]
- Statistisches Jahrbuch für die Eisen- und Stahlindustrie**. Statistische Gemeinschaftsarbeit der Bezirksgruppe Nordwest der Wirtschaftsgruppe Eisen schaffende Industrie und des Stahlwerksverbandes. Jg. 10 (1938). Düsseldorf 1938. Verlag Stahleisen. IX, 247 S. 8⁰ [J 14]
- Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich**. Hrsg. vom Statistischen Reichsamt. Jg. 57 (1938). Berlin 1938. Verlag für Sozialpolitik. L, 652, 336, 27 S. mit Abb. 8⁰ [J 15]
- [Ingenieurnachwuchs]** Der Ingenieurnachwuchs. Untersuchungen über den Besuch der Technischen Hochschulen, Bergakademien und Ingenieurschulen sowie über die Zahl der Ingenieurprüfungen an diesen in den Jahren 1928 bis 1940. Hrsg. vom Verein deutscher Ingenieure im NS.-Bund Deutscher Technik. Berlin 1938. Selbstverlag. I, 63 S. mit 27 Abb. 8⁰ [E 4216]
- Jeres, Fritz**: Die Buchhaltung im Heizungsfach. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 63 S. 8⁰ [4187]
- Kalender des deutschen Metallarbeiters**. Jg. 1938 u. 1939. Berlin 1937—1938. Verlag der Deutschen Arbeitsfront. 8⁰ [J 13]
- Kedenburg, Heinrich**: Kältetechnik und Kühlbetrieb. Berlin 1937. Verlag der Deutschen Arbeitsfront. 98 S. mit 90 Abb. im Text u. auf 4 Taf. 4⁰ [A 4276]
- Kerpely, Koloman v.**: Stahlformgußpraxis in der Elektrostahlgießerei. Halle (Saale) 1926. W. Knapp. III, 107 S. mit 24 Abb. 8⁰ [E 4217]
- Kindscher, Erich, Hans Wicht u. Max Georg Orthaus**: Blasenbildung in Asphaltbelägen. Berlin 1938. Volk und Reich Verlag. 68 S. 8⁰ [4188]
- Klar, Max**: Fabrikation von absolutem Alkohol zwecks Verwendung als Zusatzmittel zu Motortreibstoffen. 2. Aufl. Halle (Saale) 1937. W. Knapp. VIII, 96 S. mit 15 Abb. 8⁰ [4189]
- Kleine, Klemens, Heinrich Kreis u. Adolf Müller**: Leitfaden für das Rechnungswesen in der Eisen schaffenden Industrie. Hrsg. vom Ausschuß für Betriebswirtschaft des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. Bd 1. Kostenrechnung, Bewertung und Erfolgsrechnung. Düsseldorf 1938. Verlag Stahleisen. 102 S. mit 1 Taf. 8⁰ [G 4281]
- Koch, Werner**: VDI-Wasserdampf tafeln. Mit einem Mollier-(i,s)-Diagramm auf einer besonderen Tafel. Hrsg. vom Verein deutscher Ingenieure und in dessen Auftrag bearb. München: R. Oldenbourg; Berlin: J. Springer 1937. 64 S. mit 1 Taf. 4⁰ [A 4125]
- Koks**. Ein Problem der Brennstoffveredlung. Von Heinz Kurz u. Fritz Schuster. Leipzig 1938. S. Hirzel. XV, 382 S. mit 106 Abb. 8⁰ [G 4241]
- Kollmann, Franz**: Künstliche Holz Trocknung und Holz Lagerung. Im Auftrage des Ausschusses für wirtschaftliche Fertigung (AWF) ausgearb. Nebst. Erg. Bl. Berlin 1932. Beuthverlag. 90 u. 4 S. mit 26 Abb. 8⁰ [E 4125]
- Krause, Fritz**: Der Motoren- und Instrumenten-Einbau-Monteur. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 64 S. mit 42 Abb. 8⁰ [4165]
- Kriz, Stephan**: Das Elektrostahlverfahren. Ofenbau, Elektrotechnik, Metallurgie und Wirtschaftliches. Nach F. T. Sisco: The Manufacture of electric steel umgearbeitet und erweitert. Berlin 1929. J. Springer. IX, 291 S. mit 123 Abb. 8⁰ [E 4227]
- Kuhn, Werner**: Physikalische Chemie. Leipzig 1938. Quelle & Meyer. XI, 360 S. mit 29 Abb. 8⁰ [4260]
- Kurztitelverzeichnis** technisch-wissenschaftlicher Zeitschriften. Hrsg. von der Reichsgemeinschaft der Technisch-Wissenschaftlichen Arbeit. Nach dem Stande vom Januar 1937. Berlin 1937. Selbstverlag. 39 S. 8⁰ [E 4221]
- Laschin, Michael**: Der Sauerstoff. Seine Gewinnung und seine Anwendung in der Industrie. 2. Aufl. Halle (Saale) 1937. C. Marhold. 101 S. mit 25 Abb. 8⁰ [4084]
- Leyensetter, Walther**: Grundlagen und Prüfverfahren der Zerspanung, insbesondere des Drehens. Hrsg. vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit. Leipzig 1938. B. G. Teubner. 160 S. mit Abb. 8⁰ [4166]
- [Lichtbogenschweißung]** 15 Stunden Lichtbogenschweißung. Praktischer Lehrgang für Anfänger. 4. Aufl. Aachen 1936. Arcos-Gesellschaft für Schweißtechnik. 93 S. mit Abb. 8⁰ [4261]
- Lieferantenverzeichnis** der Elektrizitätswerke. Hrsg. von der Elektrizitätswirtschaft. 9. Aufl. Berlin 1938. Franckh. I, 10, XXXVII, 189, 20 S. 8⁰ [J 7]
- Lüder, Erich**: Lötten und Lote. Hrsg. vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung beim Reichskuratorium für Wirtschaftlichkeit. 2. Aufl. Berlin 1936. Beuthverlag. 64 S. mit 33 Abb. 8⁰ [E 4262]
- Menge, Erich**: Mechanikaufgaben aus der Maschinentechnik. 2 T. Bearb. von Ernst Zimmermann. Leipzig 1937—1938. M. Jänecke. 8⁰ [4091]
- T. 1. Grundbegriffe — Statik fester Körper. 8. Aufl. 1937. IV, 176 S. mit Abb.
- T. 2. Festigkeitslehre. 7. Aufl. 1938. VIII, 133 S. mit Abb.
- Meyer, Oswald**: Elektrische Öfen. Leipzig 1922. W. de Gruyter. 133 S. mit 83 Abb. 8⁰ [E 4223]
- Meyer-Mark, Hans H.**: Die Herstellung von Filztuchen und technischen Geweben bei Thomas Josef Heimbach. Leipzig 1937. J. J. Arnd. 173 S. mit Abb. 8⁰ [4184]
- [Mittellandkanal]** Der Mittellandkanal. Hrsg. vom Reichsverkehrsministerium. Berlin 1938. Volk und Reich Verlag. 109 S. mit Abb. u. 2 Kt. 4⁰ [A 4277]
- Möbius, Paul K. L.**: Die Neon-Leuchtröhren, ihre Fabrikation, Anwendung und Installation. 2. Aufl. Leipzig 1938. Hachmeister & Thal. 80 S. mit 67 Abb. 8⁰ [4169]

- [Nichteisenmetalle]** Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle. Hrsg. von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure. Schriftleitung: Georg Masching u. a. Abschnitte A—C u. G—K. Berlin 1936—1938. VDI-Verlag. 8⁰ [E 4232
Abschnitte A—C. Mechanische und chemische Prüfung der Metalle. 1938. Getr. Pag.
Abschnitte G—K. Leichtmetalle. 1936. Getr. Pag.
- Normblattverzeichnis.** Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Aug. 1937. Berlin 1937. Beuthverlag. 355 S. 8⁰ [EJ 10
- Normen der Elektrotechnik für Installationsmaterial.** Normblätter zu den Vorschriften, Regeln und Normen für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial bis 750 V Nennspannung (K. P. I.) des VDE. Hrsg. vom Verband Deutscher Elektrotechniker und dem Deutschen Normenausschuß. 2. Aufl. Berlin 1932. Beuthverlag. 83 S. mit Abb. 8⁰ [E 4218
- Nuber, Friedrich:** Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und Dampfkesselanlagen. 7. Aufl. München 1937. R. Oldenbourg. X, 155 S. mit 20 Abb. 8⁰ [4098
- Nüral-Leichtgußaschenbuch** der Aluminiumwerke Nürnberg. Nürnberg 1938. Selbstverlag. 196 S. mit Abb. 8⁰ [4265
- Nüral-Leichtmetallguß** im Kraftmaschinenbau. Hrsg. von den Aluminiumwerken Nürnberg. Nürnberg 1938. Selbstverlag. 96 S. mit Abb. 8⁰ [4264
- Ohnesorge, Alfred, u. Hans Boida:** Kosten der Prefschluff-erzeugung und des Prefschluffbohrbetriebes bei der Gesteinsgewinnung. Berlin 1938. Verlag der Deutschen Arbeitsfront. 62 S. mit 18 Abb. 8⁰ (Schriften des Fachamtes Stein und Erde.) [4191
- Perrar, Josef:** Steuerbefreiungen und Vergünstigungen der Vermögensteuer, Gewerbesteuer und Grundsteuer. Bonn 1938. W. Stollfuß. 68 S. 8⁰ [4193
- [Phosphorsäure]** Die Phosphorsäure. Arbeiten über Phosphorsäurefragen. Hrsg. von der Wissenschaftlichen Abteilung des Vereins der Thomasmehlerzeuger. Bd 7. Berlin 1938. Deutsche Verlagsgesellschaft. 100 S. mit Abb. 8⁰ [J 9
- [Richtwerte]** Wärmetechnische Richtwerte. Im Auftrage der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hrsg. von Fritz Henning. Berlin 1938. VDI-Verlag. VI, 106 S. 8⁰ [E 4219
- Riepenberg, Friedrich:** Praktische Anleitung zur Instandsetzung von Elektromaschinen und Transformatoren sowie zur Herstellung von Elektromaschinenwicklungen und Transformatorwicklungen. 2. Aufl. Berlin 1938. F. Klett. 171 S. mit 185 Abb. 8⁰ [4267
- Ritter, Karl:** Grundlagen zur Berechnung statisch bestimmter ebener Fachwerke bei ruhender und bei beweglicher Belastung. 2. Aufl. Leipzig 1937. M. Jänecke. 40 u. 35 S. mit 59 Abb. 8⁰ [4194
- Röntgen, Paul:** Über den gegenwärtigen Stand des Metallhüttenwesens und seine voraussichtliche Weiterentwicklung. Vortragsreihe. Hrsg. vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1938. Verlag Stahleisen. 33 S. mit 10 Taf. 4⁰ [A 4247
- [Rohr]** Das Rohr im Bohrbetrieb. Hrsg. von den Mannesmannröhren-Werken. Düsseldorf 1938. Selbstverlag. 158 S. mit Abb. 8⁰ [4195
- [Rothensee]** Schiffshebewerk Rothensee. Zur Inbetriebsetzung am 30. Oktober 1938 hrsg. von den an der Ausführung beteiligten Lieferwerken. Magdeburg 1938. Fried. Krupp Grusonwerk. 51 S. mit Abb. u. 1 Taf. 4⁰ [A 4278
- Ruf, Emil Friedrich:** Die Elektrometallöfen unter besonderer Berücksichtigung der Öfen zum Schmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen. München 1922. R. Oldenbourg. IX, 161 S. mit 123 Abb. 8⁰ [E 4220
- Ruf, Emil Friedrich:** Die Elektrostahlöfen. Ihr Aufbau und gegenwärtiger Stand sowie Erfahrungen und Betriebsergebnisse der elektrischen Stahlerzeugung. München 1924. R. Oldenbourg. VIII, 471 S. mit 439 Abb. im Text u. auf 1 Taf. 8⁰ [E 4222
- Schleier, Emil:** Mathematik. 3. Aufl. Leipzig 1938. M. Jänecke. VIII, 230 S. mit 319 Abb. 8⁰ [4168
- Schlipköter, Max:** Wärmewirtschaft im Eisenhüttenwesen. Dresden 1926. T. Steinkopff. VIII, 119 S. mit 55 Abb. u. 1 Taf. 8⁰ [E 4225
- Schmidt, Ernst:** Einführung in die technische Thermodynamik. Berlin 1936. J. Springer. VIII, 314 S. mit 182 Abb. u. 2 Taf. 8⁰ [G 4038
- Schmidt, Manfred Rainer:** Heizfibel für häusliche Feuerstätten. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 23 S. mit 20 Abb. 8⁰ [4197
- Schmitt, Julius:** Mercedes Büromaschinenwerke Aktiengesellschaft, Zella-Mehlis (Thür.). 2. Aufl. Leipzig 1937. J. J. Arnd. 63 S. mit Abb. u. Taf. 8⁰ [4198
- Schultz, Edwin:** Die Emailierung des Gußeisens. Halle (Saale) 1937. W. Knapp. III, 150 S. mit 31 Abb. 8⁰ [4268
- Sieben, Kurt:** Die Wirtschaftlichkeit einer Großkraftverwertung der Kohlenenergie in Deutschland. Düsseldorf 1921. Verlag Stahleisen. 81 S. mit 25 Abb. 8⁰ [E 4236
- Siemens, Werner v.:** Lebenserinnerungen. 13. Aufl. Berlin 1938. J. Springer. 298 S. mit 1 Taf. 8⁰ [E 4226
- Sinzig, Wilhelm:** Die Einkommensteuer. Was jeder davon wissen muß. Kurze Einführung in das Einkommensteuergesetz vom 16. Oktober 1934 unter Berücksichtigung der bis Mitte Dezember 1937 eingetretenen Änderungen. 7. Aufl. Bonn 1937. W. Stollfuß. 45 S. 8⁰ [4199
- Sinzig, Wilhelm:** Die Umsatzsteuer. Was jeder davon wissen muß. Kurze Einführung in das Umsatzsteuergesetz vom 16. Oktober 1934 unter Berücksichtigung der bis Mitte Dezember 1937 eingetretenen Änderungen. 7. Aufl. Bonn 1937. W. Stollfuß. 46 S. 8⁰ [4200
- Skirl, Werner:** Elektrische Messungen. 2. Aufl. Berlin 1936. W. de Gruyter. XXXX, 802 S. mit 711 Abb. u. Taf. 8⁰ [E 4228
- Spethmann, Hans:** Das Ruhrgebiet im Wechselspiel von Land und Leuten, Wirtschaft, Technik und Politik. Bd 3. Das Ruhrrevier der Gegenwart. Berlin 1938. Verlag für Sozialpolitik. 370 S. mit 189 Abb. 4⁰ [A 4242
- Stamminger, Walter:** Die Pumpen-Warmwasserheizung. 2. Aufl. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 207 S. mit 136 Abb. 8⁰ [4269
- Teerstraßenbau** in kleinen Gemeinden. Hrsg. von der Auskunft- und Beratungsstelle für Teerstraßenbau. Essen 1938. Selbstverlag. 24 S. mit 21 Abb. 8⁰ [4246
- Theegarten, A., u. M. Geyer:** Fräsen. München 1938. C. Hanser. 78 S. mit 60 Abb. 8⁰ [4202
- [Ursprung]** Vom Ursprung und Werden der Buderus'schen Eisenwerke, Wetzlar. 2 Bde. München 1938. F. Bruckmann. 4⁰ [A 4248
Bd 1. XV, 375 S. mit Abb., Faks. u. Taf.
Bd 2. VII, 365 S. mit Abb., Faks. u. Taf.
- Vogdt, Rudolf:** Formelsammlung zur technischen Mechanik (Statik und Dynamik des Maschinenbaus). 2. Aufl. Leipzig 1938. M. Jänecke. VIII, 55 S. mit 117 Abb. 8⁰ [4270
- Vogt, Hans:** Kostenrechnung und Tarifgestaltung in der Gasversorgung. Eine energiewirtschaftliche Studie. München 1938. R. Oldenbourg. 123 S. mit 21 Abb. u. 1 Taf. 8⁰ [G 4282
- [Vorträge]** Technisch-wissenschaftliche Vorträge, gehalten auf dem Internationalen Gießereikongreß, Düsseldorf 1936. Hrsg. vom Technischen Hauptausschuß für Gießereiwesen. Vorträge Nr 1, 2, 4, 8—12, 15, 18—21, 23, 27, 30. Düsseldorf 1937. Gießereiverlag. 1 Mappe mit 16 Heften. 4⁰ [A 4279
- Wiehle, Ernst:** Das Kraftfahrzeug. Fragen und Antworten. T. 1 u. 2. Kleinmachnow, Post Berlin-Zehlendorf 1938. T. Biller. 8⁰ [4205
T. 1. Bau und Wesen des Kraftfahrzeuges. (Allgemeine Fahrzeugkunde.) 3. Aufl. 19 S.
T. 2. Störungen, ihre Ursache und Beseitigung. Berechnungsbeispiele. 2. Aufl. 28 S.
- Willing, Willi:** Die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung des Haushalts. Eine Elektrizitätswirtschaftliche Studie unter besonderer Berücksichtigung der Kochstromversorgung. Berlin 1938. J. Springer. II, 56 S. mit 30 Abb. 8⁰ [E 4230
- Wotschke, Johannes:** Die Leistung des Drehstromofens. Berlin 1925. J. Springer. V, 70 S. mit 23 Abb. 8⁰ [E 4231
- Zimmermann, Walter, u. Erich Böddrich:** Einführung in die Dinormen. Bearb. in Gemeinschaft mit der Geschäftsstelle des Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen. 6. Aufl. Leipzig 1938. B. G. Teubner. VII, 216 S. mit 435 Abb. 8⁰ [4271

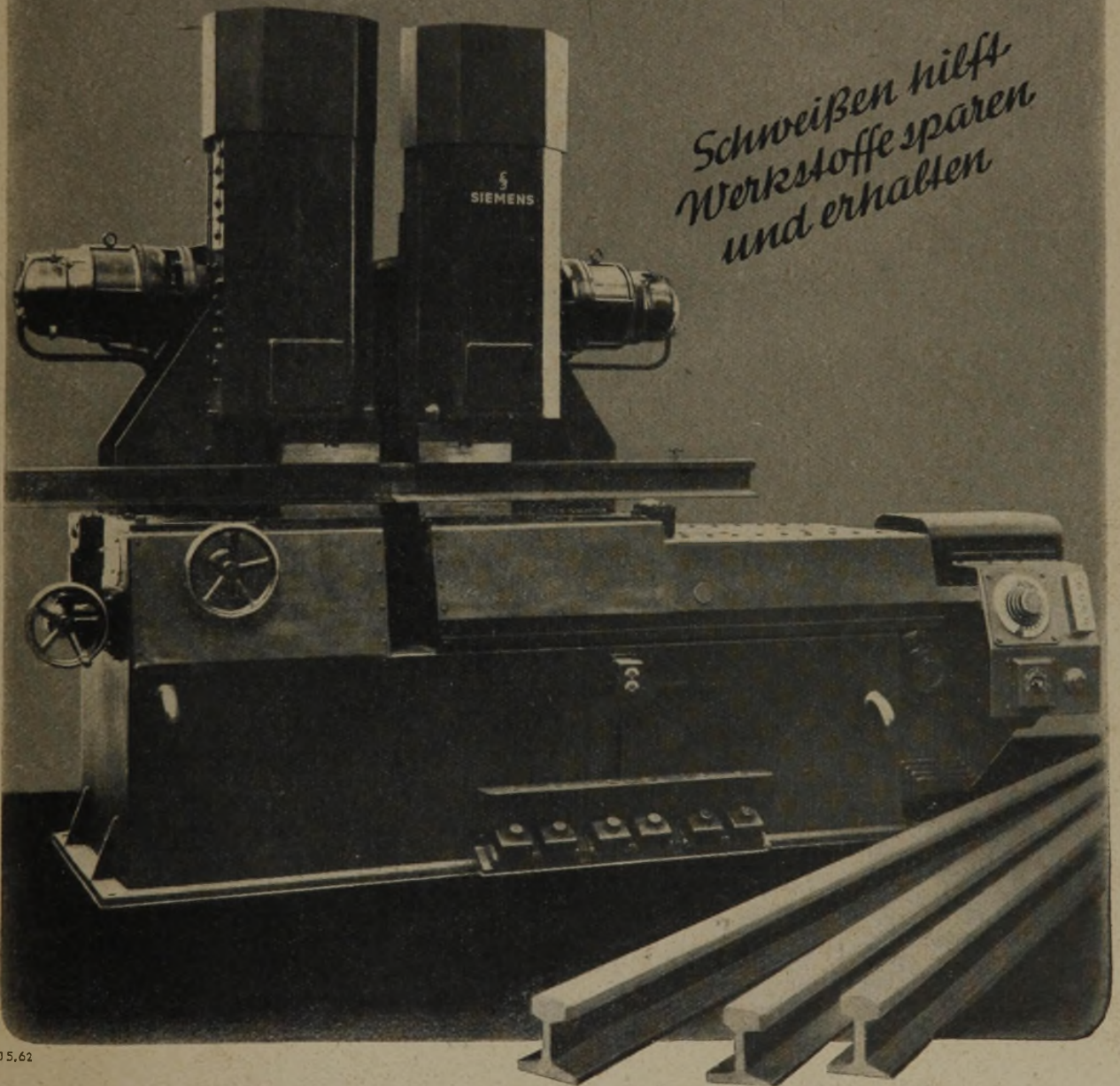


SIEMENS

ABBRENN- SCHWEISS MASCHINEN

jeder Größe zum Schweißen von Schienen aller Art

*Schweißen hilft
Werkstoffe sparen
und erhalten*



35,62

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · BERLIN-SIEMENSSTADT

- [Nichteisenmetalle] Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle. Hrsg. von der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde im Verein deutscher Ingenieure. Schriftleitung: Georg Masching u. a. Abschnitte A—C u. G—K. Berlin 1936—1938. VDI-Verlag. 8^o [E 4232
Abschnitte A—C. Mechanische und chemische Prüfung der Metalle. 1938. Getr. Pag.
Abschnitte G—K. Leichtmetalle. 1936. Getr. Pag.]
- Normblattverzeichnis.** Hrsg. vom Deutschen Normenausschuß. Ausg. 1937. Berlin 1937. Beuthverlag. 355 S. 8^o [EJ 10]
- Normen der Elektrotechnik für Installationsmaterial.** Normblätter zu den Vorschriften, Regeln und Normen für die Konstruktion und Prüfung von Installationsmaterial bis 750 V Nennspannung (K. P. I.) des VDE. Hrsg. vom Verband Deutscher Elektrotechniker und dem Deutschen Normenausschuß. 2. Aufl. Berlin 1932. Beuthverlag. 83 S. mit Abb. 8^o [E 4218]
- Nuber, Friedrich:** Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und Dampfkesselanlagen. 7. Aufl. München 1937. R. Oldenbourg. X, 155 S. mit 20 Abb. 8^o [4098]
- Nüral-Leichtgußtaschenbuch der Aluminiumwerke Nürnberg.** Nürnberg 1938. Selbstverlag. 196 S. mit Abb. 8^o [4265]
- Nüral-Leichtmetallguß im Kraftmaschinenbau.** Hrsg. von den Aluminiumwerken Nürnberg. Nürnberg 1938. Selbstverlag. 96 S. mit Abb. 8^o [4264]
- Ohnesorge, Alfred, u. Hans Boida:** Kosten der Preflußzeugung und des Preflußbohrbetriebes bei der Gesteinsgewinnung. Berlin 1938. Verlag der Deutschen Arbeitsfront. 62 S. mit 18 Abb. 8^o (Schriften des Fachamtes Stein und Erde.) [4191]
- Perrar, Josef:** Steuerbefreiungen und Vergünstigungen der Vermögensteuer, Gewerbesteuer und Grundsteuer. Bonn 1938. W. Stollfuß. 68 S. 8^o [4193]
- [Phosphorsäure] Die Phosphorsäure. Arbeiten über Phosphorsäurefragen. Hrsg. von der Wissenschaftlichen Abteilung des Vereins der Thomasmehlerzeuger. Bd 7. Berlin 1938. Deutsche Verlagsgesellschaft. 100 S. mit Abb. 8^o [J 9]
- [Richtwerte] Wärmetechnische Richtwerte. Im Auftrage der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hrsg. von Fritz Henning. Berlin 1938. VDI-Verlag. VI, 106 S. 8^o [E 4219]
- Riepenberg, Friedrich:** Praktische Anleitung zur Instandsetzung von Elektromaschinen und Transformatoren sowie zur Herstellung von Elektromaschinenwicklungen und Transformatorenwicklungen. 2. Aufl. Berlin 1938. F. Kleff. 171 S. mit 185 Abb. 8^o [4267]
- Ritter, Karl:** Grundlagen zur Berechnung statisch bestimmter ebener Fachwerke bei ruhender und bei beweglicher Belastung. 2. Aufl. Leipzig 1937. M. Jänecke. 40 u. 35 S. mit 59 Abb. 8^o [4194]
- Röntgen, Paul:** Über den gegenwärtigen Stand des Metallhüttenwesens und seine voraussichtliche Weiterentwicklung. Vortragsreihe. Hrsg. vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1938. Verlag Stahleisen. 33 S. mit 10 Taf. 4^o [A 4247]
- [Rohr] Das Rohr im Bohrbetrieb. Hrsg. von den Mannesmannröhren-Werken. Düsseldorf 1938. Selbstverlag. 158 S. mit Abb. 8^o [4195]
- [Rothensee] Schiffshebewerk Rothensee. Zur Inbetriebsetzung am 30. Oktober 1938 hrsg. von den an der Ausführung beteiligten Lieferwerken. Magdeburg 1938. Fried. Krupp Grusonwerk. 51 S. mit Abb. u. 1 Taf. 4^o [A 4278]
- Ruf, Emil Friedrich:** Die Elektrometallöfen unter besonderer Berücksichtigung der Öfen zum Schmelzen von Kupfer und Kupferlegierungen. München 1922. R. Oldenbourg. IX, 161 S. mit 123 Abb. 8^o [E 4220]
- Ruf, Emil Friedrich:** Die Elektrostahlöfen. Ihr Aufbau und gegenwärtiger Stand sowie Erfahrungen und Betriebsergebnisse der elektrischen Stahlerzeugung. München 1924. R. Oldenbourg. VIII, 471 S. mit 439 Abb. im Text u. auf 1 Taf. 8^o [E 4222]
- Schleier, Emil:** Mathematik. 3. Aufl. Leipzig 1938. M. Jänecke. VIII, 230 S. mit 319 Abb. 8^o [4168]
- Schlipkötter, Max:** Wärmewirtschaft im Eisenhüttenwesen. Dresden 1926. T. Steinkopff. VIII, 119 S. mit 55 Abb. u. 1 Taf. 8^o [E 4225]
- Schmidt, Ernst:** Einführung in die technische Thermodynamik. Berlin 1936. J. Springer. VIII, 314 S. mit 182 Abb. u. 2 Taf. 8^o [G 4038]
- Schmidt, Manfred Rainer:** Heizfibel für häusliche Feuerstätten. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 23 S. mit 20 Abb. 8^o [4197]
- Schmitt, Julius:** Mercedes Büromaschinenwerke Aktiengesellschaft, Zella-Mehlis (Thür.). 2. Aufl. Leipzig 1937. J. J. Arnd. 63 S. mit Abb. u. Taf. 8^o [4198]
- Schütz, Edwin:** Die Emaillierung des Gußeisens. Halle (Saale) 1937. W. Knapp. III, 150 S. mit 31 Abb. 8^o [4268]
- Sieben, Kurt:** Die Wirtschaftlichkeit einer Großkraftverwertung der Kohlenenergie in Deutschland. Düsseldorf 1921. Verlag Stahleisen. 81 S. mit 25 Abb. 8^o [E 4236]
- Siemens, Werner v.:** Lebenserinnerungen. 13. Aufl. Berlin 1938. J. Springer. 298 S. mit 1 Taf. 8^o [E 4226]
- Sinzig, Wilhelm:** Die Einkommensteuer. Was jeder davon wissen muß. Kurze Einführung in das Einkommensteuergesetz vom 16. Oktober 1934 unter Berücksichtigung der bis Mitte Dezember 1937 eingetretenen Änderungen. 7. Aufl. Bonn 1937. W. Stollfuß. 45 S. 8^o [4199]
- Sinzig, Wilhelm:** Die Umsatzsteuer. Was jeder davon wissen muß. Kurze Einführung in das Umsatzsteuergesetz vom 16. Oktober 1934 unter Berücksichtigung der bis Mitte Dezember 1937 eingetretenen Änderungen. 7. Aufl. Bonn 1937. W. Stollfuß. 46 S. 8^o [4200]
- Skirl, Werner:** Elektrische Messungen. 2. Aufl. Berlin 1936. W. de Gruyter. XXXX, 802 S. mit 711 Abb. u. Taf. 8^o [E 4228]
- Spethmann, Hans:** Das Ruhrgebiet im Wechselspiel von Land und Leuten, Wirtschaft, Technik und Politik. Bd 3. Das Ruhrrevier der Gegenwart. Berlin 1938. Verlag für Sozialpolitik. 370 S. mit 189 Abb. 4^o [A 4242]
- Stamminger, Walter:** Die Pumpen-Warmwasserheizung. 2. Aufl. Halle (Saale) 1938. C. Marhold. 207 S. mit 136 Abb. 8^o [4269]
- Teerstrafsenbau in kleinen Gemeinden.** Hrsg. von der Auskunft- und Beratungsstelle für Teerstrafsenbau. Essen 1938. Selbstverlag. 24 S. mit 21 Abb. 8^o [4246]
- Theegarten, A., u. M. Geyer:** Fräsen. München 1938. C. Hanser. 78 S. mit 60 Abb. 8^o [4202]
- [Ursprung] Vom Ursprung und Werden der Buderus'schen Eisenwerke, Wetzlar. 2 Bde. München 1938. F. Bruckmann. 4^o [A 4248
Bd 1. XV, 375 S. mit Abb., Faks. u. Taf.
Bd 2. VII, 365 S. mit Abb., Faks. u. Taf.]
- Vogdt, Rudolf:** Formelsammlung zur technischen Mechanik (Statik und Dynamik des Maschinenbaus). 2. Aufl. Leipzig 1938. M. Jänecke. VIII, 55 S. mit 117 Abb. 8^o [4270]
- Vogt, Hans:** Kostenrechnung und Tarifgestaltung in der Gasversorgung. Eine energiewirtschaftliche Studie. München 1938. R. Oldenbourg. 123 S. mit 21 Abb. u. 1 Taf. 8^o [G 4282]
- [Vorträge] Technisch-wissenschaftliche Vorträge, gehalten auf dem Internationalen Gießereikongreß, Düsseldorf 1936. Hrsg. vom Technischen Hauptausschuß für Gießereiwesen. Vorträge Nr 1, 2, 4, 8—12, 15, 18—21, 23, 27, 30. Düsseldorf 1937. Gießereiverlag. 1 Mappe mit 16 Heften. 4^o [A 4279]
- Wiehle, Ernst:** Das Kraftfahrzeug. Fragen und Antworten. T. 1 u. 2. Kleinmachnow, Post Berlin-Zehlendorf 1938. T. Biller. 8^o [4205
T. 1. Bau und Wesen des Kraftfahrzeuges. (Allgemeine Fahrzeugkunde.) 3. Aufl. 19 S.
T. 2. Störungen, ihre Ursache und Beseitigung. Berechnungsbeispiele. 2. Aufl. 28 S.]
- Willing, Willi:** Die Wirtschaftlichkeit der Stromversorgung des Haushalts. Eine Elektrizitätswirtschaftliche Studie unter besonderer Berücksichtigung der Kochstromversorgung. Berlin 1938. J. Springer. II, 56 S. mit 30 Abb. 8^o [E 4230]
- Wotschke, Johannes:** Die Leistung des Drehstromofens. Berlin 1925. J. Springer. V, 70 S. mit 23 Abb. 8^o [E 4231]
- Zimmermann, Walter, u. Erich Böddrich:** Einführung in die Dinormen. Bearb. in Gemeinschaft mit der Geschäftsstelle des Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen. 6. Aufl. Leipzig 1938. B. G. Teubner. VII, 216 S. mit 435 Abb. 8^o [4271]



SIEMENS

ABBRENN- SCHWEISS MASCHINEN

jeder Größe zum Schweißen von Schienen aller Art

*Schweißen hilft
Werkstoffe sparen
und erhalten*



35.61

SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG · BERLIN-SIEMENSSTADT



AUGUST THYSSSEN-HÜTTE

A K T I E N G E S E L L S C H A F T
D U I S B U R G - H A M B O R N

umfaßt die Werke:

Thyssenhütte · Hütte Ruhrort-Meiderich · Niederrheinische Hütte · Hochöfen Hüttenbetrieb · Hütte Vulkan

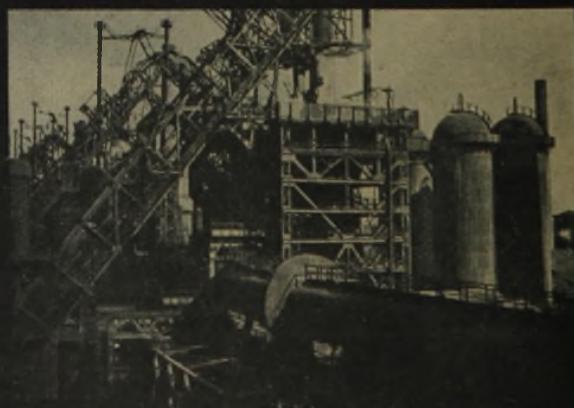
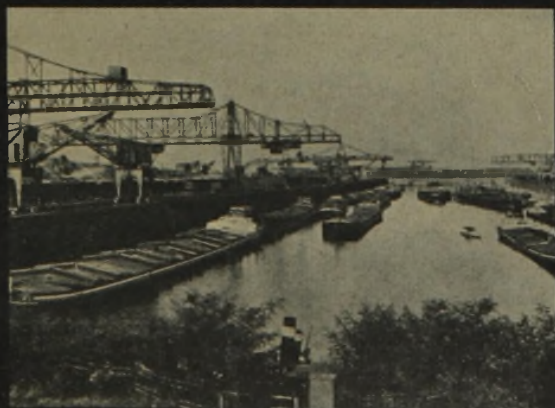
und erzeugt dort:

Roheisen · Ferromangan · Thomas-, Martin-
und Elektro Stahl · Halbzeug · Formeisen
Stab- und Kleinformeisen · Eisenbahn-Ober-
baumaterial · Grob-, Mittel- und Feibleche
Walzdraht · Kohlenrutschen · Grubenausbaue
Gleisbremsen · Oberbauschrauben · Schienennägel

Hochofenschlacken-Erzeugnisse · Thomasmehl

Sonderheiten:

Harmet-Preßstahl, lunkerfrei-P-Träger (Breit-
flanschträger) · Elektrobleche · Drillwulst-
Stahl (Bewehrungseisen) · Walzdraht für
Stahldrähte, Schweißdrähte, Telegraphendraht







**RHEINMETALL-
ELEKTRODEN
UND SCHWEISSDRÄHTE**
RHEINMETALL-BORSIG
AKTIENGESELLSCHAFT WERK DÜSSELDORF

948/85

Wirtschaftliche Röntgenprüfung
durch MÜLLER-VOLLSCHUTZ-RÖNTGENAPPARAT

Makro 150



Fordern Sie unverbindlich Angebot!

C. H. F. MÜLLER A.-G. HAMBURG

ZENTRALVERWALTUNG BERLIN Abteilung Material-Untersuchung
BERLIN NW 40, HINDERSINSTRASSE 14

Wichtige Neuerscheinung!

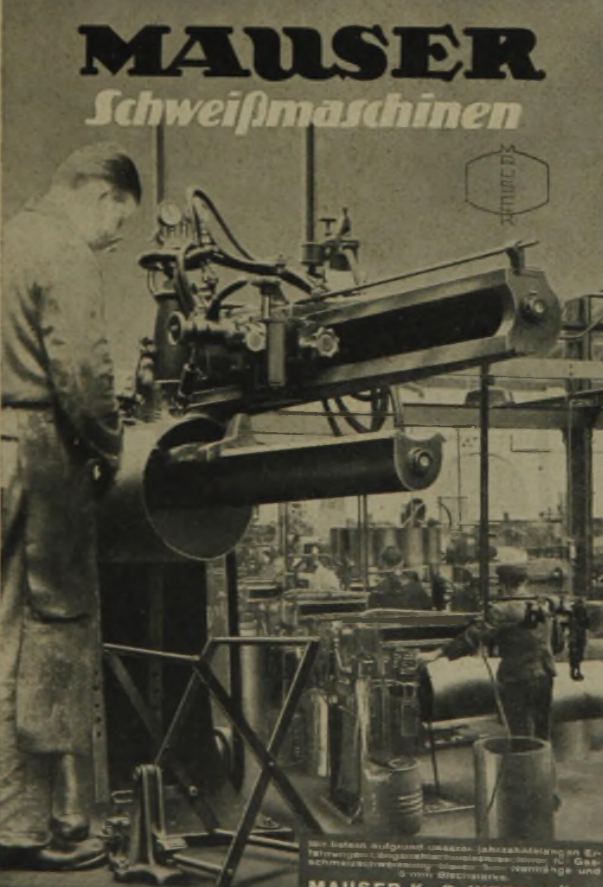
„Gesammelte Berichte aus Betrieb und Forschung der Ruhrgas AG.“

Für jeden, der an der Entwicklung und dem Ausbau der Gasfernversorgung interessiert ist, bringt das Buch eine Fülle wichtiger Erkenntnisse und Anregungen. Die Ergebnisse aus Betrieb und Forschung der größten europäischen Gasgesellschaft werden in dieser Broschüre in klarer und übersichtlicher Form der Öffentlichkeit übergeben.

Preis 4,50 RM.

VULKAN-VERLAG DR.W. CLASSEN, ESSEN

IM „HAUS DER TECHNIK“



MAUSER
Schweißmaschinen

MAUSER K. G. WERK KÖLN

Wir liefern aufgrund unserer jahrzehntelangen Erfahrung die verschiedensten Typen von Gas- und Lichtschweißmaschinen, Schweißbrenner, Schweißgeräte und Schweißapparate.



SAWA
KEILRIEMENTRIEBE

Verlangen Sie Sawa-Kataloge u. Druckschriften über Keilriementriebe, Spannrollentriebe, Stirnrädergetriebe u. Schaltgetriebe

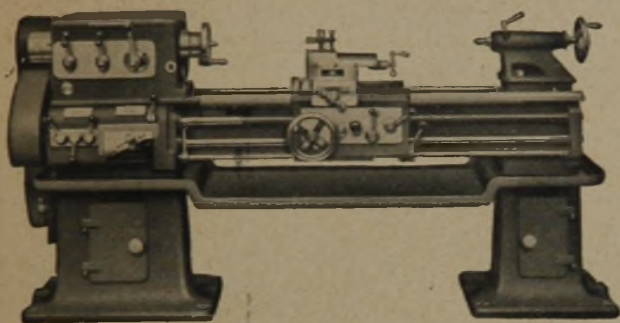
FRITZ SAUERWALD
Fabrik für Getriebebau / Wuppertal-Barmen

259

Kappel-Genauigkeits- Schnelldrehbank Modell EA

Moderne Bauart mit folgenden Konstruktionsmerkmalen:

- Kräftige Durchbildung aller Teile
- Spindelkasten für 18 Geschwindigkeiten bis zu 600 Umdrehungen in der Minute
- Genauigkeitsausführungen nach DIN
- Breite Führungsflächen
- Reitstock und Support mit besonderer Prismenführung
- Nortonkasten für metrische und engl. Gewinde und zahlreiche Vorschübe



Maschinenfabrik Kappel Akt.-Ges., Chemnitz

ZEISS Schweißnaht- Prüf-Gerät

Für Untersuchungen auf:



Einbrand · Porigkeit
Rißbildung · Einschlüsse
Bindung · Art der Körnung
bei Entnahme von Bohrtropfen

Mit großem Erfolg in
ständiger Benutzung
bei: Werften, Brückenfirmen,
Flugzeugwerken, Stahl-
u. Eisenhochbau, Reichs-
bahnwerkstätten, Hebe-
zeugfirmen, Werkzeug-
fabriken
(Drehstähle, Fräser usw.)
u. a. m.

Druckschriften und weitere Auskünfte kostenfrei



CARL ZEISS · JENA
BERLIN · HAMBURG · KÖLN · WIEN

**Wir schweißen nach unserm Lichtbogen-Sonderverfahren
Land- und Schiffsdampfkessel. Dampffässer, Druckgefäße u. dgl.**



Waschturm von 1450 mm \varnothing und 13000 mm Höhe, 28,5/34,5 mm Wanddicke, für 30 atü Betriebsdruck, vollständig elektrisch geschweißt, im ganzen normal gegläht



PINTSCH

JULIUS PINTSCH KOMMANDITGESELLSCHAFT / BERLIN O 17

Die neuen Sonderdrucke des Hauses der Technik

Nr.	Name	Titel:	Stückpreis:
1/30	Bergwerksdirektor Dr.-Ing. Wilh. Roelen	„Deutsche Großraumgaswirtschaft und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung“	1,25 RM.
2/30	Dr.-Ing. F. Rapatz	„Zweckmäßige Auswahl und Arbeitsbedingungen der Werkstoffe für Zerspanungswerkzeuge“	—,75 RM.
3/30	Professor Dr. rer. nat. W. Gerlach	„Die Forschungswege der Naturwissenschaften“	—,80 RM.
4/30	Dipl.-Ing. R. Rasch	„Herstellung und Verwendung der Schamoffesteine in Theorie und Praxis“	1,— RM.
5/30	Professor Dr.-Ing. C. H. Dencker	„Der Einsatz von Mensch und Maschine im Kampf um unsere Nahrungsfreiheit“	—,60 RM.
6/30	Dr.-Ing. R. Blankenfeld	„Preßstoff — der neue Werkstoff, seine Herstellung und seine Verwendung“	1,— RM.
7/30	Dozent Dr. E. Justi	„Fortschritte der statistischen Thermodynamik und ihrer praktischen Anwendung“	—,60 RM.
8/30	Professor Dr. H. Kienle	„Über die Zustände der Materie im Kosmos“	—,60 RM.
9/30	Professor Dr. Kutzbach Obering. R. Klein Prof. Dr.-Ing. Kurt Rauh	„Getriebetechnische Vortragsreihe“	1,25 RM.
10/30	Professor Dr. Niemczyk	„Die Bergschadenskunde als Lehr- und Forschungsgebiet“ . .	1,— RM.
11/30	Dipl.-Ing. H. Herbst	„Neuere Entwicklung und Aussichten der Schachtförderung im Steinkohlenbergbau“	—,60 RM.
12/13/30	Obering. Dipl.-Ing. Presser Dipl.-Ing. Dümmler Obering. Dipl.-Ing. Stormanns	„Untersuchung neuzeitlicher Fördermaschinen“ und „Fortschritt der Elektrifizierung im Bergbau unter Tage“	1,25 RM.
14/30	Dr.-Ing. K. Gulthmann	„Über die Messung hoher Temperaturen an Eisen und Stahl“	—,60 RM.
15/30	Dipl.-Ing. L. von Reis	„Neuzeitliche Glasfasergewinnung“	—,60 RM.
16/30	Dr.-Ing. habil. H. Lossagk	„Mensch und Verkehrsunfall“	—,60 RM.
17/30	Dr. H. Lorenz	„Neue Wege des Experimentierens beim physikalischen Unterricht“	1,25 RM.
18/30	Dr. G. Scholf	„Glas als Austauschwerkstoff“	—,25 RM.
19/30	Professor Dr. phil. H. Stintzing	„Röntgenographische Prüfungsverfahren in der Technik“ . . .	—,60 RM.
20/30	Professor Dr.-Ing. Kuron	„Neue Erkenntnisse in der Bodenchemie“	—,60 RM.
21/30	Regierungsbaurat H. Lorenz	„Straßenbau in und mit der Natur“	—,60 RM.
22/30	Direktor Dr.-Ing. E. Schmidt	„Die Zellstoffindustrie im Rahmen des Vierjahresplanes“ . .	—,60 RM.
23/30	Dr.-Ing. F. Rapatz	„Überblick über Bearbeitungsfragen an Stahl“	—,60 RM.
24/30	Professor H. Weiß	„Die Struktur der Mineralölprodukte und ihre Bedeutung für die Technik“	—,60 RM.
25/30	Präsident des Reichspatentamtes G. Klauer	„Das neue Deutsche Patentgesetz und die Rechte des angestellten Erfinders“	1,20 RM.
26/30	Dr.-Ing. Maduschka	„Über Beanspruchung und zweckmäßige Gestaltung von Schraubenverbindungen“	—,60 RM.
27/30	Baudirektor Fr. Ernst	„Die Mitarbeit des Bauingenieurs und Architekten bei der Errichtung großer Industriewerke“	—,25 RM.
28/30	Dr.-Ing. E. Ralsch	„Technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte für die Anwendung der Wärme- und Kälteschutzstoffe“	—,60 RM.
29/30	Professor Dr.-Ing. Böß	„Das wasserbauliche Versuchswesen“	—,50 RM.

Zu beziehen durch:

VULKAN-VERLAG DR. W. CLASSEN / ESSEN
(im Haus der Technik)



SULZE & SCHRÖDER

Schornsteinbauten

Kesseleinmauerungen Rauchkanäle

Hannover, Geibelstr. 14

Fernruf 812 37 · Drahtanschrift: Schröderkamine



Löt-, Schweiß- und Schneide-Anlagen

Zusatzmaterial 75000 fach bewährt. 36 seitig. Katalog kostenlos

PERKEO-STAHLLUDWIGSBURG 106 (Württ.)

SCHWEISSEN
SCHNEIDEN
LÖTEN
mit

Zeus Jupiter

Hochdruck-Acetylenentwickler
leicht trag- und fahrbar, stationär



Seit 40 Jahren die bewährten Schweißbrenner Schneidbrenner Reduzierventile Lötgeräte usw. in höchster Vollendung.

ZINSER

Hunderttausende sind im Gebrauch!

Acetylenwerk Ebersbach

EUGEN ZINSER · EBERSBACH-FILS WURTT.

3/39. (März)

Preis 20 Pf.

Der Schulungsbrief

Partei und Wehrmacht

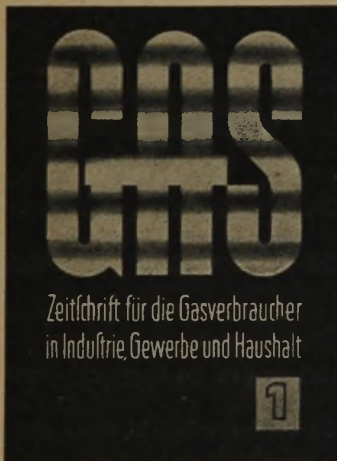
Auf 64 Seiten verstärkte Sonderfolge

Auflage: 4 1/4 Millionen

Bezug nur durch die Ortsgruppen der Partei

Zentralverlag
Der NSDAP., Franz Eher Nachf., Berlin

Herausgeber: Der Reichsorganisationsleiter der NSDAP.



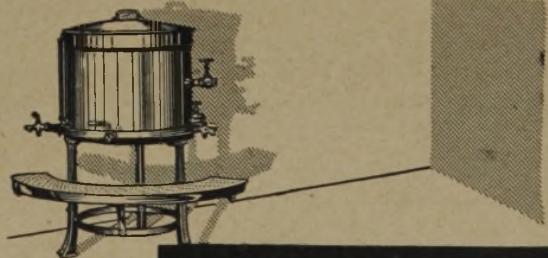
DIE ZEITSCHRIFT
FÜR ALLE FRAGEN DER
GASVERWENDUNG

GAS

WERBELEITUNG ESSEN

im „Haus der Technik“ / Fernruf Sa.-Nr. 26241

Zur Betriebskameradschaft



Küppersbusch Kaffeewasserkocher

für Dampf, Gas u. Elektrizität für Fabriken und Menagen, in einfacher Ausführung, in jeder Größe, mit und ohne Tropfrinne lieferbar



F. Küppersbusch & Söhne AG., Gelsenkirchen

Stahlbauwerke

genietet und geschweißt
für Bergbau, Hütten- und Walzwerke,
chemische Großindustrie, Textilindustrie,
Hochbau, Versammlungshallen, Lichtspiel-
theater, Gas-, Wasser- und Elektrizitäts-
anlagen.

Stahlbau Mieddelmann Essen

GESELLSCHAFT FÜR ELEKTROSCHWEISSUNG

WEBER & Co., KOMM.-GES.

DORTMUND, KORNEBACHSTR. 100, TELEFON 3 34 41/42/43

Ausführung von Schweißarbeiten jeder Art,
insonderheit Reparaturschweißungen, Rohr-
leitungsbau, Behälterbau · Geschweißte Ma-
schinenteile bis zu den größten Abmessungen



Selbständiger

KONSTRUKTEUR

für Mühlenbau und Hartzerkleinerung

für baldigen Eintritt gesucht.

Schriftliche Angebote mit Zeug-
nisabschriften, Lichtbild, Lebens-
lauf, Angabe der Gehaltsan-
sprüche und des frühesten Ein-
trittstages sind zu richten an

Kohlenscheidungs-Gesellschaft

mit beschränkter Haftung

Berlin SW 68, Alexandrinenstraße 135/6

Fließdraht

für autogene Schweißung nach Reichsbahn-Vorschrift
für **Kesselbau**

Prospekte u. Muster kostenlos von **Fabrik Fließ, Duisburg**

Schweißtechnik G. m. b. H., Essen

Akazienallee 19

Telefon 27263

Schweißmaschinen – Elektroden

Ausführung von Schweißarbeiten jeglicher Art

Ausbildung und Prüfung

von

Schweißern und Schweißingenieuren

entsprechend jeder gewünschten Anforderung.

Westdeutsche

Schweißtechnische Lehr- u. Versuchsanstalt

Duisburg, Sedanstraße 17a

Lehrgangsübersicht auf Wunsch

Wir suchen:

einen etwa 30jährigen

Konstrukteur

des allgemeinen Maschinenbaues

Erfahrungen im Apparate- und Behälter-
bau sind erwünscht, aber nicht erforder-
lich. Bewerbungen mit Lichtbild und
Gehaltsansprüchen unter Angabe des
frühesten Eintrittstermins an

Ruhrgas Aktiengesellschaft

(Abteilung Betrieb)

Essen, Herwarthstraße 60